

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

## ŘEZNÁ KERAMIKA A JEJÍ EFEKTIVNÍ VYUŽITÍ CUTTING CERAMICS AND ITS EFFECTIVE USE

DIPLOMOVÁ PRÁCE  
DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

Bc. LUKÁŠ PODEŠVA

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

doc. Ing. ANTON HUMÁR, CSc.

*BRNO 2010*

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2009/10

## **ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE**

student(ka): Podešva Lukáš, Bc.

který/která studuje v **magisterském studijním programu**

obor: **Výrobní technologie a průmyslový management (2303T010)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

### **Řezná keramika a její efektivní využití**

v anglickém jazyce:

### **Cutting ceramics and its effective use**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Diplomová práce je zaměřena na keramické řezné materiály z hlediska jejich rozdělení, označování, fyzikálních, mechanických a řezných vlastností, užití a současných trendů vývoje a výroby u renomovaných špičkových producentů nástrojů a nástrojových materiálů. Cílem práce je komplexní zpracování získaných technických poznatků a zejména vyhodnocení a porovnání pracovních podmínek (druh obráběného materiálu, řezné podmínky -  $vc$ ,  $f$ ,  $ap$ ), které vybraní výrobci doporučují pro efektivní soustružnické aplikace svých druhů řezné keramiky.

Cíle diplomové práce:

1. Charakteristika řezné keramiky (druhy, výroba, značení, fyzikálně mechanické vlastnosti)
2. Řezná keramika v sortimentu výroby nejvýznamnějších domácích a světových producentů nástrojů a nástrojových materiálů
3. Hodnocení řezivosti nástroje
4. Doporučené pracovní podmínky pro efektivní využití řezné keramiky

Seznam odborné literatury:

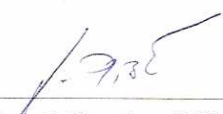
1. AB SANDVIK COROMANT - SANDVIK CZ s.r.o. Příručka obrábění - Kniha pro praktiky. Přel. M. Kudela. 1. vyd. Praha: Scientia, s. r. o., 1997. 857 s. Přel. z: Modern Metal Cutting - A Practical Handbook. ISBN 91-97 22 99-4-6.
2. BROOKES, K.J.A. Hardmetals and other Hard Materials. Second Edition. Shrewsbury, England: European Powder Metallurgy Association, 1992. 198 p. ISBN 0 9508995 3 4.
3. BROOKES, K.J.A. World Directory and Handbook of Hardmetals and Hard materials. Sixth Edition. East Barnet Hertfordshire, United Kingdom: International Carbide Data, 1996. 220+528 p. ISBN 0 9508995 4 2.
4. ČSN-ISO 3685. Zkoušky trvanlivosti při soustružení jednobřitým nástrojem. Praha: Federální úřad pro normalizaci a měření, 1993.
5. HUMÁR, Anton. Materiály pro řezné nástroje. MM publishing s. r.o., Praha. 2008. 235 s. ISBN 978-80-254-2250-2.
6. HUMÁR, A. Materiály pro řezné nástroje. Studijní opory. VUT-FSI v Brně, ÚST, Odbor technologie obrábění. 2006. [online]. Dostupné na [www: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/mat\\_pro\\_rez\\_nastroje/materialy\\_pro\\_rezne\\_nastroje\\_v2.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/mat_pro_rez_nastroje/materialy_pro_rezne_nastroje_v2.pdf).
7. HUMÁR, A., PÍŠKA, M. Materiály pro řezné nástroje. MM Průmyslové spektrum - Speciální vydání. Zář 2004. ISSN 1212-2572., s. 84-96.
8. KOČMAN, K. Speciální technologie obrábění. Druhé přepracované a doplněné vydání. Brno: PC-DIR Real, s.r.o. 1998, 213 s. ISBN 80-214-1187-2.
9. Technické materiály a prospekty firem Ceramtec, Ceratizit, Iscar, Kennametal, Korloy, Mitsubishi, Saint Gobain Advanced Ceramics, Sandvik Coromant, Seco, Walter, Widia.


Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Anton Humár, CSc.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2009/10.

V Brně, dne 20.11.2009



  
prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.  
Ředitel ústavu

  
doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.  
Děkan fakulty

## ABSTRAKT

První část této práce, uvádí základní poznatky o řezné keramice (druhy, značení, struktura, fyzikálně-mechanické vlastnosti, použití, výroba) a hodnotí tento nástrojový materiál z hlediska řezivosti. Druhá část je zaměřena na komplexní zpracování dat o sortimentu keramických řezných materiálů významných producentů nástrojových materiálů a porovnání pracovních podmínek (druh obráběného materiálu, řezné podmínky), které výrobci doporučují pro efektivní soustružnické aplikace svých druhů řezné keramiky.

### Klíčová slova

Řezná keramika, vyměnitelné břitové destičky, whiskery, řezivost nástroje, řezné podmínky

## ABSTRACT

In the first part of this diploma thesis there are described basic findings about cutting ceramics (sorts, notation, structure, physical-mechanical properties, using, production) and it evaluates this tool material from the aspect of cutting power. The second part focuses on complex data processing about assortment of ceramics cutting materials of significant tool materials producers and comparison of service conditions (kind of mechanided materials, cutting conditions), which are recommend for effective turning by producers.

### Key words

Cutting ceramics, cutting inserts, whiskers, cutting power of tool, cutting conditions

**BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

PODEŠVA, L. *Řezná keramika a její efektivní využití*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 60 s., Vedoucí práce doc. Ing. Anton Humár, CSc.

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma *Řezná keramika a její efektivní využití* vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum

.....

Lukáš Podešva

**Poděkování**

Děkuji tímto doc. Ing. Antonu Humárovi, CSc. za cenné připomínky a rady při vypracování diplomové práce.

## OBSAH

Úvod .....	9
1 Charakteristika řezné keramiky .....	10
1.1 Druhy a značení .....	10
1.2 Struktura a fyzikálně-mechanické vlastnosti .....	10
1.2.1 Oxidová keramika .....	12
1.2.2 Nitridová keramika .....	13
1.2.3 Whiskery .....	14
1.2.4 Povlakové vrstvy .....	17
1.3 Výroba .....	18
1.3.1 Oxidová keramika .....	19
1.3.2 Nitridová keramika .....	20
1.4 Použití řezné keramiky .....	20
1.4.1 Obrábění šedé litiny .....	22
1.4.2 Obrábění žáruvzdorných slitin .....	22
1.4.3 Obrábění kalených ocelí .....	22
1.5 Monolitní keramické frézovací nástroje .....	23
2 Řezná keramika v sortimentu výroby nejvýznamnějších domácích a světových producentů nástrojů a nástrojových materiálů .....	25
2.1 CeramTec .....	25
2.1.1 Základní charakteristiky keramických řezných materiálů .....	25
2.1.2 Přehled použití keramických řezných materiálů .....	26
2.1.3 Doporučené řezné podmínky .....	26
2.2 Iscar .....	27
2.2.1 Základní charakteristiky keramických řezných materiálů .....	28
2.2.2 Přehled použití keramických řezných materiálů .....	28
2.3 Greenleaf .....	28
2.3.1 Základní charakteristiky keramických řezných materiálů .....	28
2.3.2 Přehled použití keramických řezných materiálů .....	29
2.3.3 Doporučené řezné podmínky .....	30
2.4 Kennametal .....	33
2.4.1 Základní charakteristiky keramických řezných materiálů .....	33
2.4.2 Přehled použití keramických řezných materiálů .....	34
2.4.3 Doporučené řezné podmínky .....	34
2.5 Saint gobain advanced ceramics .....	35
2.5.1 Základní charakteristiky keramických řezných materiálů .....	35
2.5.2 Přehled použití keramických řezných materiálů .....	36
2.6 Taegutec .....	36
2.6.1 Základní charakteristiky keramických řezných materiálů .....	36
2.6.2 Přehled použití keramických řezných materiálů .....	37
2.6.3 Doporučené řezné podmínky .....	37



2.7	Ssangyong .....	38
2.7.1	Základní charakteristiky keramických řezných materiálů .....	38
2.7.2	Přehled použití keramických řezných materiálů .....	39
2.7.3	Doporučené řezné podmínky .....	40
2.8	Tungaloy .....	40
2.7.1	Základní charakteristiky keramických řezných materiálů .....	40
2.7.2	Přehled použití keramických řezných materiálů .....	41
2.7.3	Doporučené řezné podmínky .....	41
3	Hodnocení řezivosti nástroje .....	42
3.1	Vlastnosti ideálního řezného materiálu .....	42
3.2	Opotřebení nástroje .....	43
3.2.1	Formy opotřebení .....	44
3.3	Pravidla pro soustružení řeznou keramikou .....	46
3.4	Vliv tvaru keramických VBD na jejich relativní pevnost .....	47
3.4.1	Nástrojový úhel špičky .....	47
3.4.2	Poloměr zaoblení špičky .....	47
3.4.3	Tloušťka vyměnitelné břitové destičky .....	48
3.4.4	Úprava ostří keramického řezného nástroje .....	48
4	Doporučené pracovní podmínky pro efektivní využití řezné keramiky .....	49
4.1	Metoda stanovení optimálních řezných podmínek .....	49
4.2	Hodnocení materiálů zařazených do skupiny K .....	49
4.3	Hodnocení materiálů zařazených do skupiny H .....	52
4.4	Hodnocení materiálů zařazených do skupiny P .....	53
4.5	Hodnocení materiálů zařazených do skupiny S .....	55
4.6	Shrnutí zjištěných poznatků .....	56
	Závěr .....	57
	Seznam použitých zdrojů .....	59

## ÚVOD

Veškerá výroba je zatížena vysokým tlakem na zvyšování její kvality a ekonomičnosti (hospodárnosti). Tento tlak nutí přicházet se stále efektivnějšími technologiemi výroby a toto platí i pro strojírenství, kde často vzniká potřeba obrábět velmi tvrdé materiály při vysokých řezných rychlostech. Zlepšení probíhají ve všech oblastech, které vstupují do řezného procesu, tzn. soustavy stroj – nástroj – obrobek. Při třískovém obrábění kovů lze zvyšovat efektivnost zkracováním strojních časů, zvyšováním řezných podmínek a používání kvalitnějších řezných materiálů s výhodnějšími vlastnostmi (vysoká otěruvzdornost, delší trvanlivost břitu nástroje a dobré snášení tepelných a dynamických namáhání při vysokých řezných rychlostech a posuvech, tvrdost za tepla, tepelná roztažnost, odolnost vůči tepelným šokům apod.). Takové řezné materiály potom umožňují plné využití výkonu obráběcích strojů a zkracování vedlejších neproduktivních časů (méně častá výměna nástrojů, vyšší řezné podmínky zkracují čas obrábění).

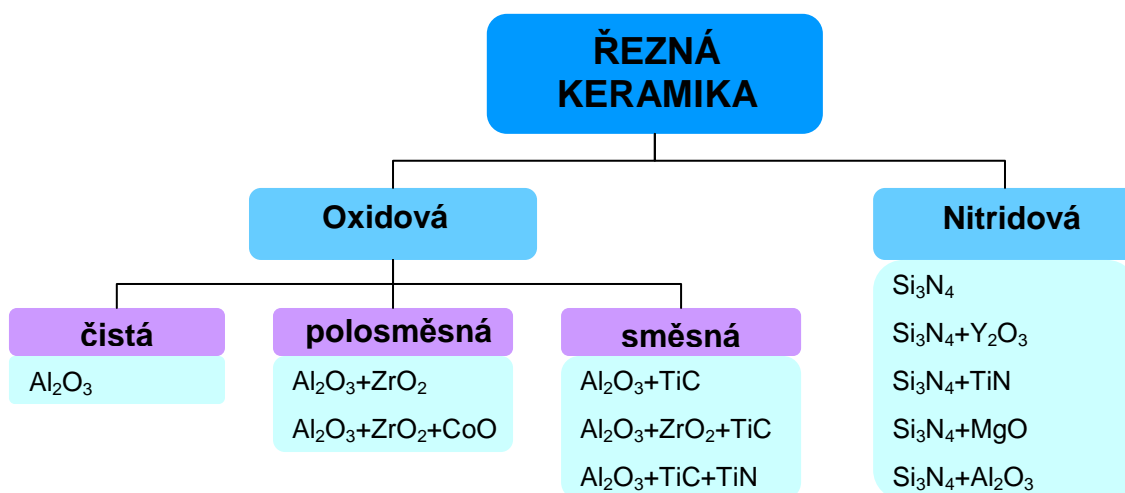
Řezná keramika patří mezi anorganické, nekovové a převážně krystalické materiály a ve strojírenském průmyslu si získala díky svým charakteristickým vlastnostem specifické postavení. Používá se především v oblastech, kde nelze efektivně využít slinutý karbid a ostatní řezné materiály, například při obrábění šedé litiny, kalených ocelí, žáruvzdorných a žárovevých slitin. Pro každou tuto oblast je výhodné použít jiný druh řezné keramiky.

Na trhu je mnoho výrobců, kteří se zabývají výrobou keramických materiálů a keramických břitových destiček. Hlavním cílem této práce je komplexní zpracování dat o sortimentu keramických řezných materiálů od významných producentů a porovnání pracovních podmínek (druh obráběného materiálu, řezné podmínky), které výrobci doporučují pro efektivní soustružnické aplikace svých druhů řezné keramiky.

# 1 CHARAKTERISTIKA ŘEZNÉ KERAMIKY

## 1.1 Druhy a značení

Pro řezné keramické materiály neexistuje normou stanovené rozdělení, přesto je všeobecně přijímáno dělení na oxidovou (čistou, polosměsnou a směsnou) a neoxidovou řeznou keramiku, jak ukazuje obr. 1.1.



Obr. 1.1 Dělení řezné keramiky <sup>1</sup>

Keramické řezné materiály se značí symboly podle normy ČSN ISO 513, jak je uvedeno v tab. 1.1.

Tab. 1.1 Značení keramických řezných materiálů podle normy ČSN ISO 513 <sup>8</sup>

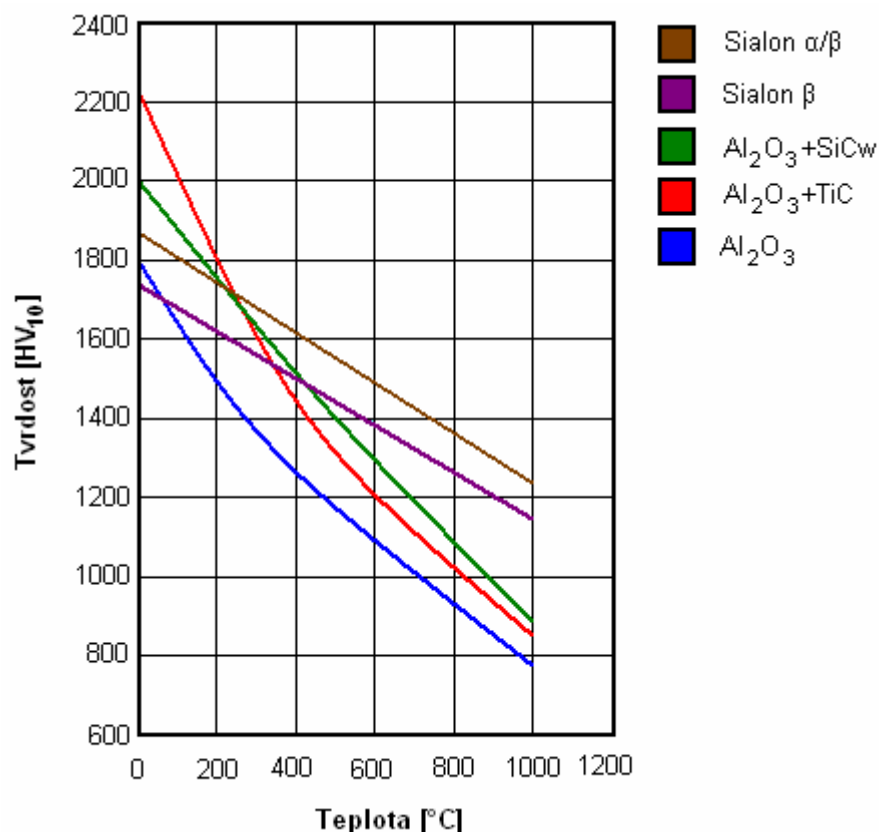
Materiál	Symbol
Oxidová ŘK s obsahem primárního $\text{Al}_2\text{O}_3$	CA
Směsná ŘK na bázi $\text{Al}_2\text{O}_3$ s neoxidovými přísadami	CM
Neoxidová ŘK s obsahem primárního $\text{Si}_3\text{N}_4$	CN
Povlakovaná ŘK	CC

## 1.2 Struktura a fyzikálně - mechanické vlastnosti

Keramika je polykrystalický materiál a obsahuje zrna velmi malých rozměrů, často menší než  $1\ \mu\text{m}$ . Lze ji charakterizovat nízkou měrnou hmotností, nízkou houževnatostí, vysokou odolností proti opotřebení, vysokou tvrdostí a to i za vysokých teplot, tepelnou odolností (až  $1750\ ^\circ\text{C}$ ) a chemickou stálostí. <sup>12</sup>

Tyto vlastnosti spolu s dalšími faktory (např. struktura, tepelná vodivost, délková roztažnost, omezená tvárnost) určují konečné mechanické vlastnosti a zaručují při správném použití vysokou trvanlivost bříty nástroje i při vysokých

řezných rychlostech (až  $1000 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ ).<sup>12</sup> Tato tvrdost však s rostoucí teplotou klesá, jak je vidět na obr. 1.2.



Obr. 1.2 Závislost tvrdosti řezné keramiky na teplotě <sup>10</sup>

Fyzikálně - mechanické vlastnosti řezné keramiky jsou z hlediska struktury ovlivněny především těmito základními faktory: <sup>1,10</sup>

- charakterem chemické vazby (iontová nebo kovalentní), která výrazně ovlivňuje pohyblivost dislokací a je důsledkem křehkosti keramiky;
- složitostí krystalické struktury;
- prostorovým uspořádáním částic různých tvarů, rozměrů a fází;
- množstvím trhlin, defektů a pórů.

Tab. 1.2 Vlastnosti některých řezných materiálů <sup>10</sup>

Řezný materiál	Tvrdost [HV]	Pevnost v tlaku [MPa]	Pevnost v ohybu [MPa]	Teplotní odolnost [°C]
Rychlořezná ocel	750÷800	2500÷3500	2000÷3000	560÷610
Slinuté karbidy	1300÷2000	4000÷5600	900÷2200	900÷1100
Řezná keramika	1600÷2800	3500÷4500	450÷1000	1300÷1600
Kubický nitrid bóru	4500	4000	600	1500
Diamant	7000	3000	300	320÷720

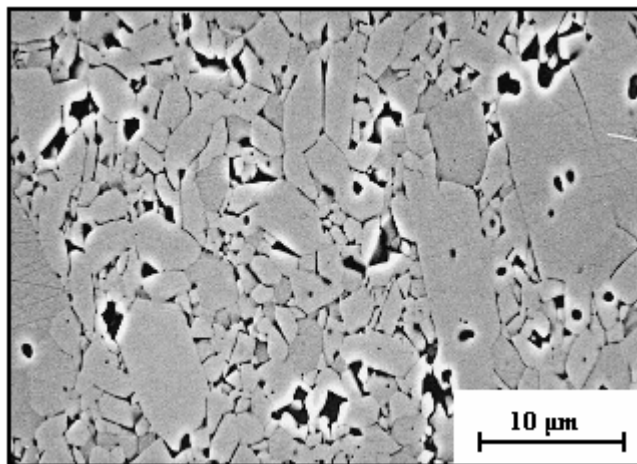
Proto dosahuje řezná keramika svých výjimečných vlastností (tab. 1.3). Pro srovnání jsou v tab. 1.2 uvedeny některé základní parametry pro různé řezné materiály při teplotě 20°C.

Tab. 1.3 Fyzikální a mechanické vlastnosti různých typů řezné keramiky<sup>13</sup>

Vlastnosti		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>					Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub>
		+3,5% ZrO <sub>2</sub>	+15% ZrO <sub>2</sub>	+15% ZrO <sub>2</sub> +20% SiC +whiskery	+10% ZrO <sub>2</sub> +5% TiC	+30% TiC	+10% Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Měrná hmotnost	ρ	4,0	4,2	3,7	4,1	4,3	3,3
	g.cm <sup>-3</sup>						
Tvrdost	HV	17,3	17,5	19,0	17,3	19,3	17,5
	GPa						
Pevnost v ohybu	σ <sub>o</sub>	700	800	900	650	620	800
	N.mm <sup>-2</sup>						
Pevnost v tlaku	σ <sub>t</sub>	5000	4700	-	4800	4800	-
	N.mm <sup>-2</sup>						
Modul pružnosti	E	380	410	390	390	400	-
	10 <sup>3</sup> .N.mm <sup>-2</sup>						
Lomová houževnatost	K <sub>IC</sub>	4,5	5,1	8,0	4,2	4,5	7,0
	MPa.m <sup>1/2</sup>						
Měrná tepelná vodivost	λ	16,4	15	32	14,7	20	-
	W.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup>						
Délková roztažnost	α	8	8	-	8	8	3,4
	10 <sup>-6</sup> .K <sup>-1</sup>						

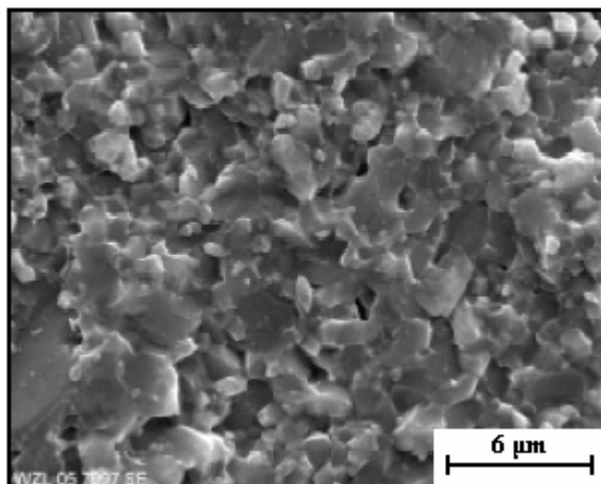
### 1.2.1 Oxidová keramika

Čistá oxidová keramika: obsahuje 99,5% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (obr. 1.3), vyznačuje se vysokou tvrdostí (až 90 HRA), otěruvzdorností a výbornou chemickou odolností a stabilitou při vysokých teplotách. Nevýhodou je především nízká odolnost proti mechanickému a tepelnému rázovému zatížení a ohybové pevnosti. Je vhodná jen pro obrábění bez rázů, kde nedochází k enormnímu odírání nástroje (např. dokončovací operace).<sup>10,2</sup>



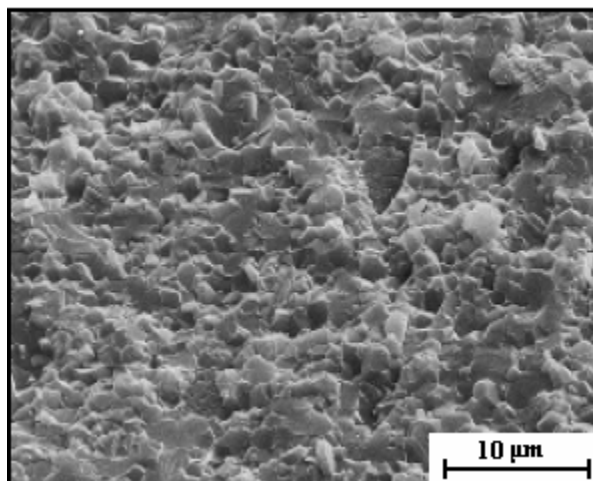
Obr. 1.3 Struktura Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+ZrO<sub>2</sub><sup>1</sup>

Polosměsná oxidová keramika: obsahuje 15-20%  $\text{ZrO}_2$  (obr. 1.4) a může obsahovat i další složky jako například  $\text{CoO}$ . Má vyšší pevnost než čistá keramika. Díky příměsi  $\text{ZrO}_2$  se snižuje náchylnost proti lomu a zvyšuje houževnatost.<sup>10</sup>



Obr. 1.4 Struktura  $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{ZrO}_2$ <sup>13</sup>

Směsná oxidová keramika: s příměsí 20-40%  $\text{TiN}$ ,  $\text{TiC}$  a  $\text{ZrO}_2$  (obr. 1.5). Má vyšší odolnost proti tepelným rázům, kterou zabezpečují přísady  $\text{TiC}$  a  $\text{TiN}$ . Díky přísadě  $\text{TiN}$  se zvyšují pevnostní vlastnosti. Tyto přísady zabezpečují také stabilitu mechanických vlastností za vysokých teplot.<sup>10</sup> Používá se například pro obrábění kalených ocelí.



Obr. 1.5 Struktura  $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{TiC}$ <sup>13</sup>

### 1.2.2 Nitridová keramika

Podle složení lze nitridovou keramiku dělit na:<sup>10</sup>

- Nitridy křemíku s různými přísadami (např.  $\text{MgO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Y}_2\text{O}_3$  orientovaný na  $\beta\text{-Si}_3\text{N}_4$ , tzv. sialon), příklad struktury je na obr. 1.6;
- Nitrid křemíku s přísadou  $\text{TiN}$ ;
- Nitrid křemíku zpevněný tenkými vlákny  $\text{SiC}$  „whiskery“.

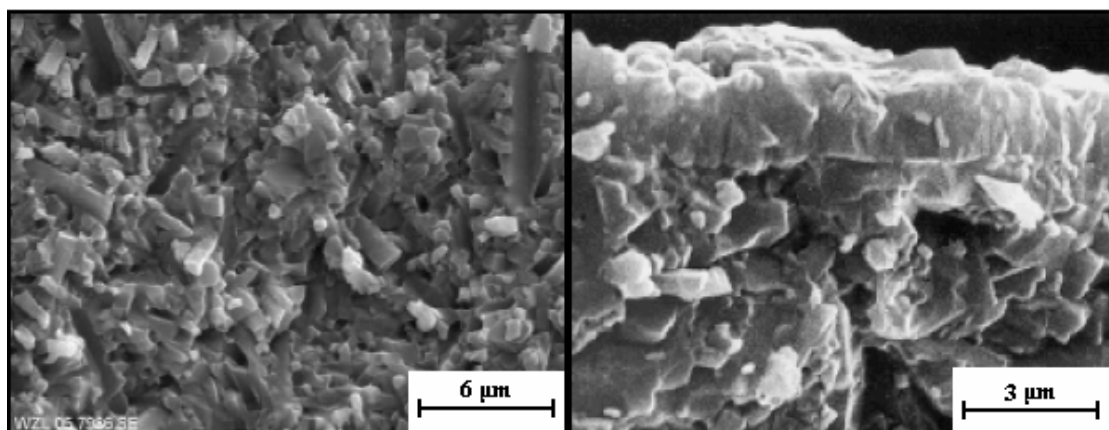
Nitridová keramika na bázi  $\text{Si}_3\text{N}_4$  se vyrábí ve dvou krystalových modifikacích  $\alpha$  a  $\beta$ . Mikrostruktura modifikace  $\alpha$ - $\text{Si}_3\text{N}_4$  má rovnoosé krystaly stejného tvaru; to způsobuje vyšší tvrdost, ale nižší houževnatost než  $\beta$ - $\text{Si}_3\text{N}_4$  (struktura s jemnozrnnou maticí, ve které jsou rozmístěny podlouhlé krystaly  $\beta$ ). Podlouhlá zrna  $\beta$  zabezpečují odklon a přemostování trhlin, a to zvyšuje odolnost proti jejich růstu a šíření (tedy i lomovou houževnatost).<sup>1,10</sup>

Oproti oxidové keramice se nitridová keramika vyznačuje zvýšenou houževnatostí, pevností v ohybu, odolností vůči cyklickým a tepelným namáháním. Chemická stabilita a odolnost proti opotřebení je však nižší než u oxidové keramiky.

Výhodné vlastnosti nitridové keramiky při vysokých teplotách jsou především odolnost proti oxidaci, mechanická pevnost, chemická odolnost, vysoká tvrdost a odolnost proti tepelným šokům.

Díky těmto vlastnostem je zabezpečena dostatečná pevnost řezné hrany a odolnost proti porušení křehkým lomem. Nitridová keramika se používá při dokončovacích a hrubovacích operacích i v případech přerušovaného řezu. Je vhodná k obrábění šedých litin, tvárných litin, kalených ocelí, žáruvzdorných, niklových a titanových slitin.<sup>11</sup>

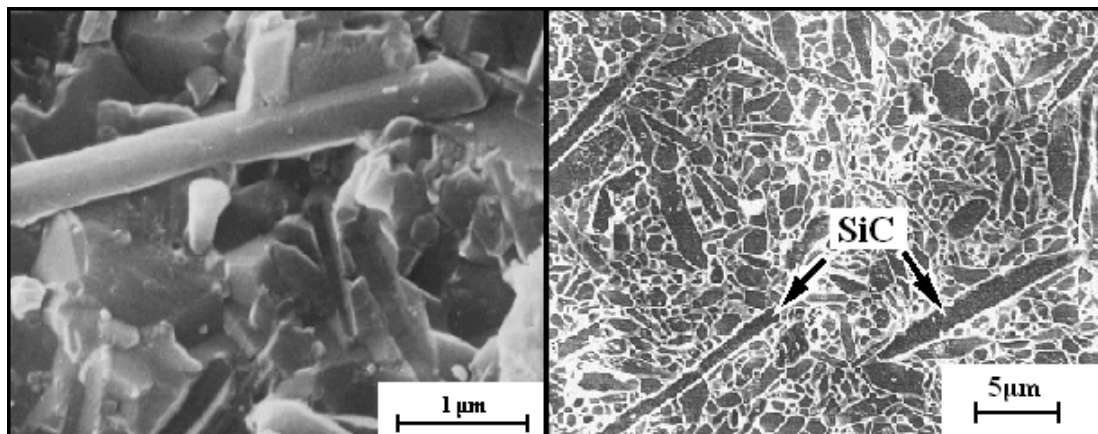
Nejčastěji je používána k obrábění šedé litiny při řezných rychlostech až  $1600 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ .<sup>2</sup>



Obr. 1.6 Struktura  $\text{Si}_3\text{N}_4+\text{MgO}$  (vlevo) a  $\text{Si}_3\text{N}_4+\text{Al}_2\text{O}_3$  (vpravo)<sup>13</sup>

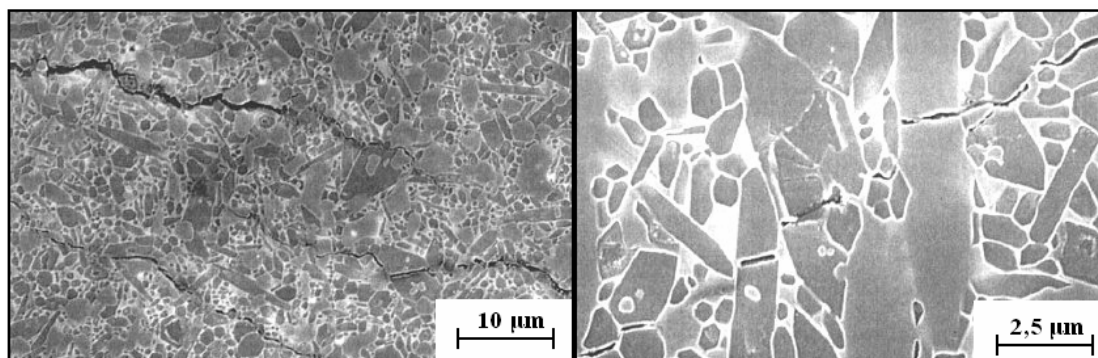
### 1.2.3 Whiskery

Whiskery jsou vlákna  $\text{SiC}$  (případně  $\text{Si}_3\text{N}_4$ ) přidávaná do základní matrice  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (obr. 1.7 - vlevo) nebo  $\text{Si}_3\text{N}_4$  (obr. 1.7 - vpravo). Keramika vyztužená těmito vlákny je výrazně zpevněná a jsou vylepšeny její základní mechanické vlastnosti (modul pružnosti, lomová houževnatost, ohybová pevnost a tvrdost), jak je patrné z charakteristik, které jsou uvedeny na obr. 1.12 a obr. 1.13. Vlákna dosahují průměru  $d = 0,1 \div 10 \text{ } \mu\text{m}$  a délky  $l = 5 \div 500 \text{ } \mu\text{m}$ .<sup>1,10</sup>



Obr. 1.7 Struktura  $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{SiCw}$  (vlevo)<sup>13</sup>, Struktura  $\text{Si}_3\text{N}_4+\text{SiCw}$  (vpravo)<sup>5</sup>

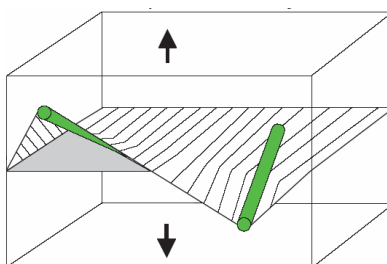
Vyztužující vlákna whiskerů zabraňují křehkému lomu tím, že rozptylují energii lomového procesu. Tímto způsobem brání šíření trhlin v materiálu (viz obr. 1.8) a zlepšují jeho mechanické vlastnosti.



Obr. 1.8 Šíření trhlin v  $\text{Si}_3\text{N}_4$  zpevněné whiskery SiC<sup>5</sup>

Whiskerová vlákna zlepšují vlastnosti řezné keramiky těmito způsoby:<sup>1</sup>

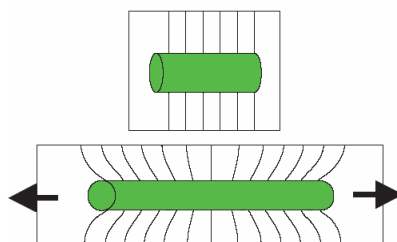
- při uvolňování vláken rovnoběžných s rovinou trhliny dojde k odklonění šíření trhliny, jak je vidět na obr. 1.9;



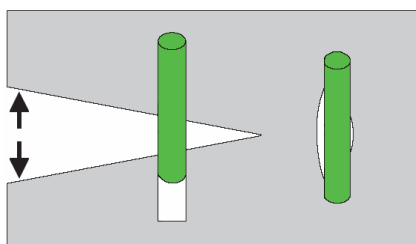
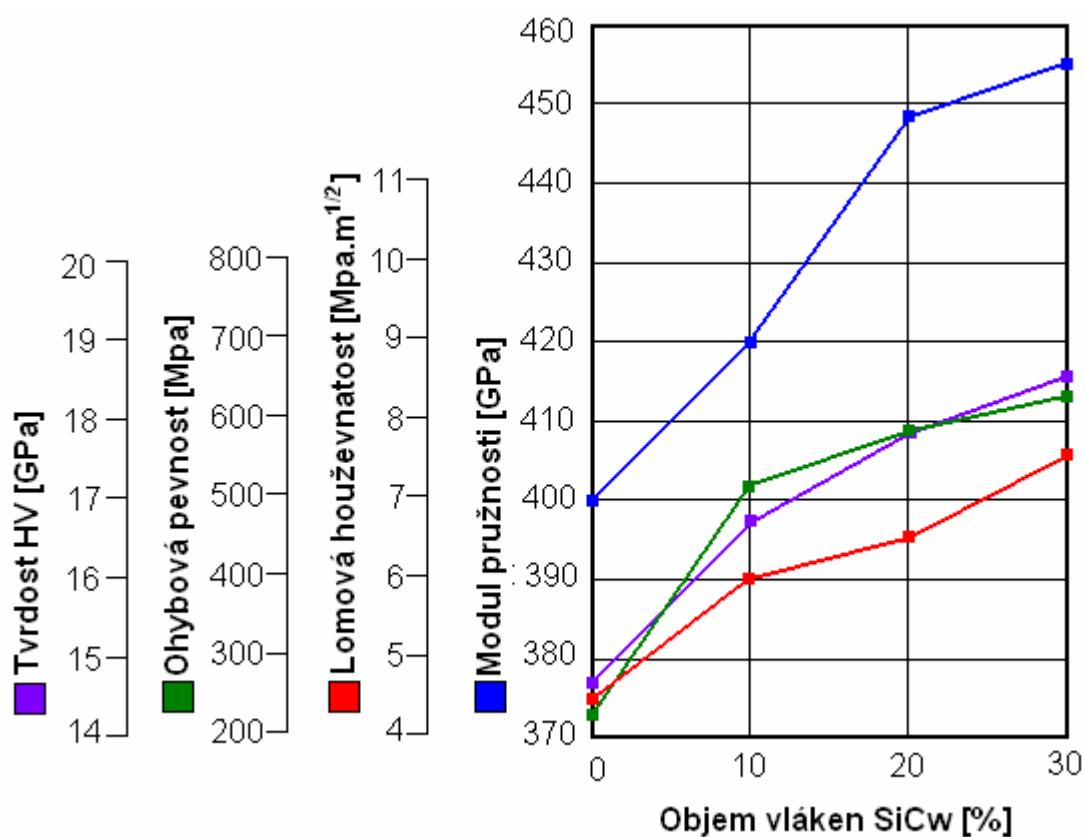
Obr. 1.9 Odklon trhliny<sup>17</sup>

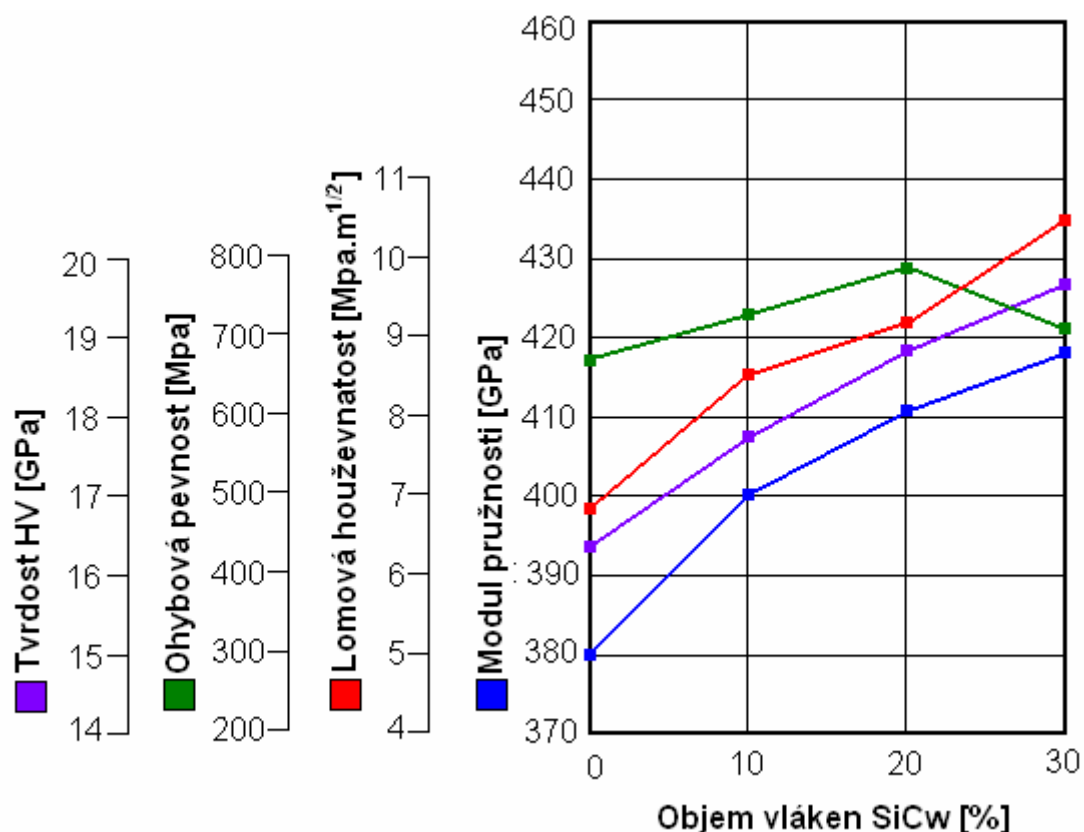
- vlákna v bezprostřední blízkosti zrn matrice vytvářejí zpevňující můstky, které přenášejí zatížení působící na whiskery v podélném směru; tato situace je znázorněna na obr. 1.10;



Obr. 1.10 Přenos zatížení <sup>17</sup>

- vlákna, která jsou kolmá k rovině trhliny, jsou porušena v této rovině nebo několik mikrometrů od ní a vytváří tzv. přemostění trhliny (obr. 1.11);

Obr. 1.11 Přemostění trhliny <sup>17</sup>Obr. 1.12 Vliv whiskerů na vlastnosti Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+SiCw <sup>1</sup>

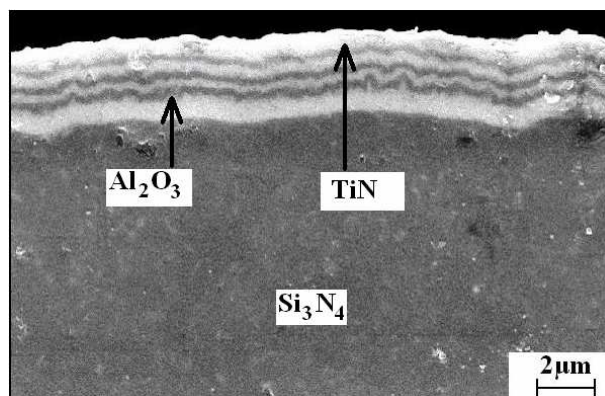


Obr. 1.13 Vliv whiskerů na vlastnosti  $\text{Al}_2\text{O}_3 + 20\%\text{ZrO}_2 + \text{SiCw}$  <sup>1</sup>

#### 1.2.4 Povlakové vrstvy

Téměř u všech řezných materiálů lze využít povlakových vrstev ke zlepšení vlastností nástroje a řezná keramika není výjimkou.

Tenké povlakové vrstvy vynikají svou tvrdostí a otěruvzdorností a zabráňují difuznímu opotřebení břitu. Vhodnou volbou této vrstvy lze zlepšit odvod třísky, snížit tepelné namáhání nástroje a zvýšit trvanlivost břitu.



Obr. 1.14 Keramika  $\text{Si}_3\text{N}_4$  s povlakem  $\text{TiN} + \text{Al}_2\text{O}_3$  <sup>6</sup>

Nástroje z řezné keramiky lze povlakovat metodami CVD, PVD i PACVD. Mezi nejpoužívanější materiály pro povlakové vrstvy patří TiN, TiC,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . V dnešní době se nejvíce využívá kombinace těchto materiálů, které se nanášejí ve více vrstvách.

Na obr. 1.14 je znázorněn multivrstvý systém  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiN}$  nanesený keramickou břitovou destičku  $\text{Si}_3\text{N}_4$ .

### 1.3 Výroba

Pro výrobu řezných keramických destiček jsou hlavními výchozími materiály především oxidy  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Y}_2\text{O}_3$ ,  $\text{ZrO}_2$ , karbidy TiC a nitridy TiN a  $\text{Si}_3\text{N}_4$ . Tyto látky jsou chemicky velmi stabilní a vyznačují se vysokou tvrdostí, tlakovou pevností a odolností proti vysokým teplotám.

Výroba keramických břitových destiček je v dílčích oblastech srovnatelná s výrobou součástí ze slinutých karbidů a cermetů. Rozdílem je, že při výrobě keramických destiček se nepoužívá žádná přísada pro spojení zrn tvrdé fáze do jednoho tělesa. Proto je výroba keramických destiček velmi složitá a klade vysoké nároky na výrobní zařízení a přesné dodržení technologických postupů.

Skládá se z těchto kroků: <sup>1,10</sup>

- příprava práškové směsi (např. mletí surovin, homogenizace a sušení);
- tvarování;
- předslinování;
- slinování;
- finální opracování (např. broušení, honování).

Hutnějšího uspořádání částic při slinování, rychlejšího a lepšího zhutnění výsledného materiálu lze dosáhnout použitím přísad, které v průběhu slinování vytvářejí kapalnou fázi ( $\text{Ln}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgAl}_2\text{O}_4$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{TiH}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Y}_2\text{O}_3$ ,  $\text{ZrO}_2$ , Ni, Mo). Tyto příměsi však podporují vytváření nekystalických fází na hranicích zrn, což má za následek degradaci mechanických vlastností materiálu při vyšších teplotách.

Nejvýznamnější složkou výroby řezných keramických destiček je výchozí prášková směs. Ta svými vlastnostmi výrazně ovlivňuje mikrostrukturu výsledného materiálu a jeho chování v průběhu slinování. Prášky složené z neaglomerovaných zrn, které se příliš neliší svými rozměry, snadněji dosahují rovnoměrné velikosti a prostorového rozložení pórů. Toto je požadováno s ohledem na rovnoměrnou rychlost zhutňování v celém objemu tělesa při slinování. Kromě toho zabraňují nadměrnému růstu zrna, což by mělo za následek zhoršení mechanických vlastností materiálu.

Technologie výroby oxidové keramiky:

- lisování za studena;
- lisování za vysokých teplot (HP - Hot Pressing);
- izostatické lisování za vysokých teplot (HIP - Hot Isostatic Pressing).

Pro výrobu oxidové keramiky se používá lisování za studena. Polosměsná a směsná keramika se vyrábí lisováním za vysokých teplot.

Všechny druhy řezné keramiky mohou být vyztuženy tenkými vlákny submikronového průměru, tzv. whiskerů (např. SiC), ty značně zvyšují řezné vlastnosti.

### 1.3.1 Oxidová keramika

Výchozí surovinou je velmi čistý jemnozrnný oxid hlinitý ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), ke kterému se přidává malé množství látek usnadňujících slinování a zabraňujících růstu zrna (např. oxidy zirkonia, yttria, chromu, titanu, niklu, hořčíku, kobaltu a molybdenu, dále pak karbidy wolframu a titanu).

Po mokrém semletí a následném vysušení dostaneme prášek schopný soudržnosti, který se slisuje na automatických lisech do požadovaného tvaru (v současné době lze lisovat i destičky s jednoduchými utvářeči třísky). Lisování obvykle probíhá na lisech s oboustranným tlakem pro dosažení dobrého zhutnění v celém průřezu polotovaru (nejnižší zhutnění je ve středu polotovaru). Dalšími používanými metodami lisování je vibrační lisování, izostatické lisování (pomocí hydrostatického tlaku kapaliny), vstřikovací lisování nebo lití.

Následující operací je slinování, zde dochází ke spojení prášku v jeden tuhý celek potřebného tvaru. V případě potřeby následuje broušení na konečné rozměry a požadovanou kvalitu povrchu.

Velmi často jsou z prášku vylisovány tyče s průřezem, který odpovídá budoucímu tvaru břitové destičky. Tyto tyče jsou po slinutí rozřezány na jednotlivé destičky pomocí okružní diamantové pily.

Metoda HIP: Vlastnosti všech druhů keramik lze vylepšit technologií vysokoteplotního izostatického lisování (viz. tab. 1.4) Takto vyrobená břitová destička má menší počet dutin a pórů.

Tab. 1.4 Vliv HIP na mechanické vlastnosti keramik <sup>1</sup>

Vlastnost	$\text{Al}_2\text{O}_3$		$\text{ZrO}_2$		$\text{Si}_3\text{N}_4$	
	před HIP	po HIP	před HIP	po HIP	před HIP	po HIP
<b>Relativní hustota</b> [%]	97,5	99,8	98,3	99,7	95,7	99,7
<b>Tvrdost</b> [HRA]	93,0	93,7	90,0	91,0	92,5	93,5
<b>Ohybová pevnost</b> [MPa]	490	735	980	1 568	980	1 176
<b>Lomová houževnatost</b> [MPa.m <sup>1/2</sup> ]	3,0	3,5	7,5	8,0	7,0	7,5

Keramické materiály jsou obtížně slinovatelné, proto se přidávají složky podporující toto slinování. Při zvyšujícím se množství těchto přísad se však zhoršují původní charakteristiky materiálu (vliv zvýšení pórovitosti). Pórovitost lze snížit zvýšením teploty slinování, ale následkem je zhrubnutí zrna. Meto-

dou HIP lze potlačit všechny tyto problémy a vyrobit kompaktní těleso s minimální pórovitostí bez výrazného růstu zrna.

Principem metody HIP je rovnoměrné stlačování součásti plynem ve všech směrech, při čemž nedochází ke změně tvaru tělesa. Při běžném vysokoteplotním tlakovém slinování je polotovár stlačován pouze v jedné ose a dochází k deformaci původního tvaru (podle tvaru formy). Pracovní teploty a tlaky u metody HIP závisí na zpracovávaném materiálu.

### 1.3.2 Nitridová keramika

Proces slinování  $\text{Si}_3\text{N}_4$  při atmosférickém tlaku je mnohem obtížnější než u oxidové keramiky na bázi  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Důvodem je nižší samodifuze, která téměř znemožňuje dosažení teoretické hustoty materiálu. Vyšší teplota sice podporuje proces difúze, ale teplota potřebná k jejímu dosažení je příliš vysoká, takže materiál se před slinováním začne rozkládat. Pro odstranění tohoto nedostatku se přidávají různé oxidy kovů (v průběhu ohřevu vytvářejí s nitridem křemíku tekutou fázi), které podporují slinování a zhutňování materiálu.

Tekutá fáze v průběhu ochlazování segreguje na hranicích zrn a vytváří zde křehkou interkrystalickou strukturu, což má negativní vliv na mechanické vlastnosti materiálu. Výsledná struktura se zrna  $\text{Si}_3\text{N}_4$  obklopenými hraničními fázemi je obvykle amorfni. Krystalizací této hraniční fáze lze zlepšit mechanické vlastnosti výsledného materiálu. Způsob výroby lze rozdělit podle zpracování nitridu křemíku:<sup>1</sup>

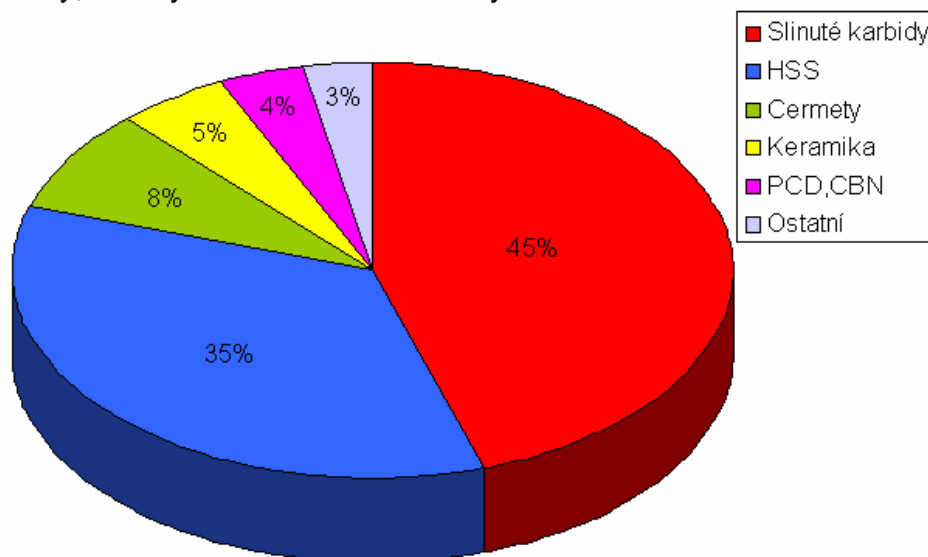
- reaktivně vázaný nitrid křemíku – RBSN (nitridace práškového křemíku při teplotách  $1200 \div 1600^\circ\text{C}$  a následná reakce s dusíkem při teplotě  $1250 \div 1450^\circ\text{C}$ );
- slinutý nitrid křemíku – SSN, slinování se zhutňovacími přísadami v dusíkové atmosféře při teplotách  $1600 \div 1800^\circ\text{C}$  a tlaku  $1 \div 10\text{ MPa}$ ;
- nitrid křemíku lisovaný za vysokých teplot – HPSN (žárovým lisováním prášku  $\text{Si}_3\text{N}_4$  se zhutňovacími přísadami za teplot  $1550 \div 1900^\circ\text{C}$  v dusíkové atmosféře při tlaku  $15 \div 50\text{ MPa}$ );
- nitrid křemíku vyrobený metodou HIP (těleso slinované při vysokých teplotách je vystaveno všestrannému tlaku plynu, až  $200\text{ MPa}$ ).

## 1.4 Použití řezné keramiky

Keramické řezné materiály jsou tvrdé, mají vysokou tvrdost za tepla a nereagují chemicky s materiálem obrobku. Zaručují dlouhou trvanlivost bříty a mohou být použity při vysokých řezných rychlostech. Při správném použití je možné dosáhnout mimořádně velkého objemu odebíraného materiálu.

Hlavní rozdíly mezi keramikou a ocelí jsou: Hustota keramiky (činí přibližně jen  $1/3$  hustoty oceli); mimořádně vysoká pevnost v tlaku vzhledem k pevnosti v tahu (tento rozdíl je u ocelí podstatně menší); u keramik nedochází k plastické deformaci, která je u ocelí obvyklá a materiál je proto velmi křehký; oproti oceli má keramika velmi nízkou tepelnou vodivost.<sup>4</sup>

Přestože řezná keramika patří k mnohostranně využitelnému řeznému materiálu, zaujímá její produkce přibližně 5% světové výroby řezných materiálů, jak ukazuje obr. 1.15.<sup>10</sup> Použití zůstává omezeno na obrábění šedé litiny, tvárné litiny, kalených ocelí a žárovzdorných slitin.



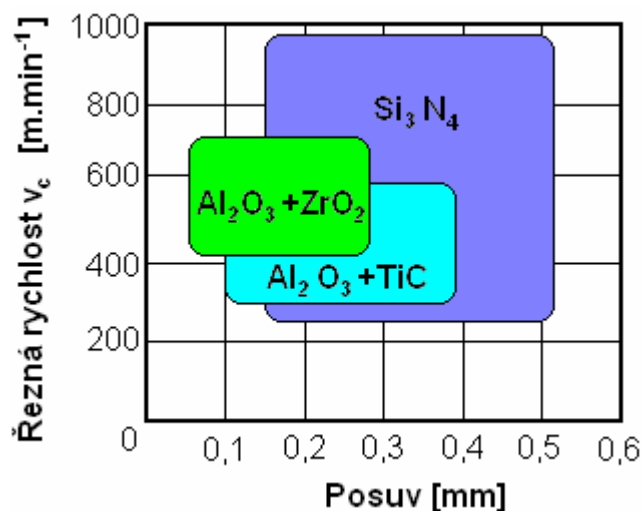
Obr. 1.15 Světová produkce řezných materiálů<sup>10</sup>

Úspěch použití keramiky je ve velké míře závislý na podmínkách obrábění, například:<sup>4</sup>

- stabilita upnutí všeobecně
- stabilita stroje
- řezné podmínky
- rozdělení a vedení řezu

K tomu je ještě nutné připočítat přizpůsobení břitu danému způsobu obrábění (druh fazetky, úhel hřbetu a úhel břitu)

Na obr. 1.16 je možné vidět rozsah použití řezných podmínek některých typů řezné keramiky.



Obr. 1.16 Rozsah použití řezné keramiky<sup>10</sup>

Přehled použití jednotlivých typů řezné keramiky pro různé druhy obráběného materiálu je uveden v tab. 1.5.

Tab. 1.5 Přehled použití keramik pro různé druhy obráběného materiálu <sup>4</sup>

Obráběný materiál	Oxidová keramika			Nitridová keramika
	Čistá	Směsná	Vyztužená	
Šedé litiny	H	H		H
Žáruvzdorné slitiny		H	H	
Kalené oceli / šedé litiny		H	H	
Oceli	V	V		
Pozn.: H - oblast hlavní aplikace, V - oblast vedlejší aplikace				

#### 1.4.1 Obrábění šedé litiny

Při hrubovacích a dokončovacích operacích vykazuje čistá keramika na bázi oxidu hlinitého dobré výsledky zvláště tehdy, není-li na odlitku licí kůra a stažení hrany. Keramika z nitridu křemíku se výborně osvědčuje při obrábění přerušovaným řezem a při měnících se hloubkách řezu. Směsná keramika na bázi oxidu hlinitého se používá v případech, kde se dává přednost jakosti obroběného povrchu před trvanlivostí bříty.

Při obrábění tvrdých druhů litin má velký význam schopnost keramiky odolávat abrazivnímu opotřebení, které je způsobeno tvrdými karbidy obsaženými v litině.

#### 1.4.2 Obrábění žáruvzdorných slitin

Dříve bylo možno obrábět tyto druhy materiálu pouze nepovlakovanými slinutými karbidy. Nyní keramika umožňuje použít při jejich obrábění podstatně vyšších řezných rychlostí s delší životností nástroje. Žáropevné slitiny obsahují nikl, který je velmi pevný při vysokých teplotách a způsobuje zvlášť velké opotřebení na čele ve tvaru žlábků; v takovém případě lze s výhodou použít směsnou nebo vyztuženou keramiku.

#### 1.4.3 Obrábění kalených ocelí

Kalená ocel a tvrdé druhy litin patří do oblasti obrábění tvrdých materiálů, kde se keramika rovněž dobře osvědčila. U těchto způsobů obrábění je možné použít směsnou keramiku a vyztuženou keramiku, protože při vysoké tvrdosti za tepla výborně odolává tepelným šokům.

Soustružení kalených součástí se již s výhodou používá jako náhrada za operace broušením, především díky své odolnosti proti opotřebení a chemické stabilitě.

Při obrábění kalených ocelí hrají hlavní roli slinuté karbidy, u nichž je vysoce ceněna jejich houževnatost. I ty nejhouževnatější druhy keramiky (na bá-

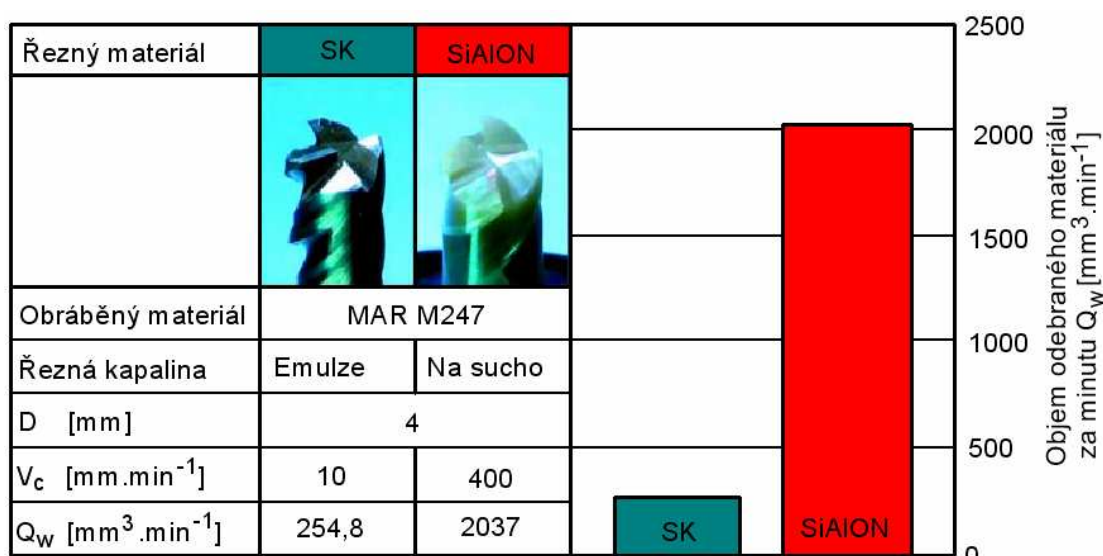
zi nitridu křemíku) nejsou při obrábění oceli chemicky stabilní, zatímco jiné druhy nejsou zase dostatečně houževnaté, aby mohly být použity ve větším rozsahu.

## 1.5 Monolitní keramické frézovací nástroje

Řada řezných materiálů (slnuté karbidy, fernety, PKD atd.) se používá ve formě břitových destiček i monolitních nástrojů. Výroba monolitních nástrojů z řezné keramiky je velice komplikovaná a mnoho pokusů vyrobit tyto nástroje už selhalo. Přesto se však firmě Fraunhofer podařilo překonat některé nepříznivé vlastnosti řezných keramik a úspěšně vyvinula několik typů monolitních keramických frézovacích nástrojů.

Vývoj monolitních keramických frézovacích nástrojů ukazuje nový směr v obrábění. V současné době se tyto frézy s úspěchem používají pro obrábění niklových slitin (např. Nimonic 90) a také nově vyvinutých odlévaných slitin, jako je MAR M247.

Minimální průměr fréz s vyměnitelnými břitovými destičkami je limitován velikostí těchto destiček a nejmenší dnes používaný nástroj má průměr 32mm. Pro operace, kde je nutné použít menší průměry, se používají nástroje ze slnutých karbidů a z rychlořezné oceli nebo se tyto operace nahrazují jinými technologiemi obrábění (broušení, elektroerosivní obrábění). Z tohoto důvodu se Fraunhofer Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik v Berlíně začal zabývat využitím výkonnosti keramických řezných materiálů při výrobě plynových turbín. V rámci tohoto výzkumu byly vyvíjeny monolitní keramické frézovací nástroje. První prototypy těchto nástrojů byly úspěšně odzkoušeny v příslušných oblastech použití již v roce 2006.



Obr. 1.17 Srovnání výkonnosti monolitních frézovacích nástrojů z řezné keramiky a ze slnutých karbidů <sup>7</sup>

Aby monolitní nástroj odolával komplexnímu stavu zatížení při frézování, musí řezný materiál vyhovět určitým požadavkům. Frézování je proces cha-



rakterizovaný přerušovaným řezem, čímž dochází k značnému mechanickému a dynamickému zatížení břitu a ke kolísání jeho teplotního zatížení. V časovém úseku, kdy břit není v záběru, se ochlazují vnější plochy nástroje více než jádro. Tím dochází k různému roztažení vnějších ploch oproti jádru. Na okrajích vznikne tahové napětí, které vede ke vzniku trhlinek. Keramika je na toto tahové napětí velmi citlivá. Obrábění za sucha je pro tento řezný materiál naprostou nutností, chlazení břitu vede ke zvýšení rozdílu teplot v okamžiku, kdy je břit v záběru a kdy je mimo záběr. Z tohoto důvodu je problematika monolitních keramických frézovacích nástrojů velmi komplikovaná.

V současné době vyvinuté monolitické frézovací nástroje z řezné keramiky mají průměr 4 a 8 mm a obsahují až 10 zubů. V rámci výzkumu byla navržena geometrie břitu pro čelní i obvodové frézování. Nástroje byly bezpečně odzkoušeny pro řezné rychlosti až  $600 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$  a posuv až  $10\,000 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ .<sup>7</sup> Pro zjištění výkonnosti monolitních keramických nástrojů byl proveden srovnávací experiment s běžně dostupnými nástroji ze slinutých karbidů. Při pokusu byly frézovány drážky o průměru 4 mm. Hodnotícím kritériem byl objem odebraného materiálu za časovou jednotku. Výsledky pokusů ukázaly, že použitím monolitních nástrojů z řezné keramiky je dosaženo osminásobného zvýšení produktivity obrábění, jak je patrné z obr. 1.17.

Nevýhodou je, že vysoká teplota obrábění vyvolává ulpívání obráběného materiálu na břit nástroje (tvorba nárustků).

## 2 ŘEZNÁ KERAMIKA V SORTIMENTU VÝROBY NEJVÝZNAMNĚJŠÍCH DOMÁCÍCH A SVĚTOVÝCH PRODUCENTŮ NÁSTROJŮ A NÁSTROJOVÝCH MATERIÁLŮ

### 2.1 CeramTec

Společnost CeramTec, která má sídla v Evropě, Severní Americe a Asii, patří mezi největší světové producenty výrobků z technické keramiky a specializuje se na jejich vývoj, výrobu a prodej. CeramTec AG má více než 100letou tradici a v současné době je ve vlastnictví Rockwood Holdings Inc. se sídlem v Princetonu, USA. Tato společnost má mimo jiné pobočku i v České republice (Šumperk).

#### 2.1.1 Základní charakteristiky keramických řezných materiálů

**SH 2** – tento druh směsné keramiky nabízí vysokou mechanickou a tepelnou odolnost zásluhou vysoce homogenní mikrostruktury zrn materiálu. Používá se jak pro plynulé soustružení tvrzených litin a tvrdých ocelí, tak pro jejich superfinišování.

**SH 3** – směsná keramika s vysokou odolností proti opotřebení, velmi dobrou houževnatostí a vysokou stabilitou ostří. Tento řezný materiál je velice vhodný pro obrábění. Poskytuje dostatečně přesvědčivé výsledky při dokončovacích operacích šedé a tvárné litiny plynulého i přerušovaného řezu.

**SN 60** – tento druh oxidové keramiky se vyznačuje nejvyšší odolností proti opotřebení a tvrdostí za vysokých teplot. Je vhodný pro soustružení s plynulým řezem a zapichování litiny bez použití řezné kapaliny.

**SN 80** – oxidová keramika vhodná pro hrubovací soustružení s plynulým řezem u tvárných litin. Výhodou je vysoká houževnatost kombinovaná s vysokou odolností proti opotřebení. Ideální druh pro velmi výkonné soustružení litin.

**SL 200** – keramika na bázi nitridu křemíku významná pro svojí pevnost, mechanickou odolnost a necitlivost vůči tepelným šokům.

**SL 500** – tato nitridová keramika vyniká především lomovou houževnatostí, stálostí ostří a tvrdostí za tepla. Používá se pro soustružení, vrtání a frézování šedých litin s širokým rozsahem použití od hrubování po dokončování pro plynulý i přerušovaný řez.

**SL 506** – jde o druh nitridové keramiky, který je vhodný pro vysoce výkonné řezání. Tento materiál obsahuje velmi tvrdé sloučeniny, které jsou zárukou vysoké tvrdosti a optimální pevnosti; tyto vlastnosti prodlužují životnost nástroje a trvanlivost ostří. Je vhodná k obrábění litin, především pro dokončovací operace.

**SL 508** – tato nitridová keramika má vylepšenou odolnost proti vrubovému opotřebení. Jednou ze specifických výhod je rozsah použití pro hrubovací soustružení šedých litin. To umožňuje použití u velmi náročných aplikací do-

provázených nadměrným namáháním břitů nože při vysokých výkonech obrábění.

**SL 550C** – nitridová keramika s naneseným vícevrstevným povlakem nitridu titanu a oxidu hliníku. Tato úprava zvětšuje rozsah použití, především pro tvárné litiny při plynulém i přerušovaném řezu.

**SL 554C** – povlak nitridu titanu na této nitridové keramice zvyšuje odolnost proti opotřebení. Tento druh je vhodný pro plynulý a těžce přerušovaný řez šedých a tvárných litin.

### 2.1.2 Přehled použití keramických řezných materiálů

Přehled použití jednotlivých řezných materiálů, jak jej uvádí výrobce, je uveden v tab. 2.1 a je rozdělen dle ISO 513.

Tab. 2.1 Přehled řezných materiálů rozdělených dle ISO 513<sup>15</sup>

Označení výrobce	ISO 513	Aplikační rozsah						P	M	K	N	S	H			
		05 15 25 35 45						ocel	korozivzdorné oceli	litiny	Neželezné kovy a slitiny	žáruvzdorné materiály	Zušlechťované oceli	soustružení	frézování	zapichování
		01	10	20	30	40	50									
SH2	K 10									●			●	●	○	○
	H 10									●			●	●	○	○
SH3	K 10									●			○	●		
SN60	K 10									●				●		●
SN80	P 20							●		●				●		
	K 20							●		●				●		
SL200	K 30									●				●	○	
SL500	K 25									●				●	●	○
SL506	K 20									●				●		
SL550C	K 20									●				●		
SL554C	K 25									●				●		

● Hlavní použití ○ Další použití

### 2.1.3 Doporučené řezné podmínky

Doporučené řezné podmínky řezných materiálů jsou uvedeny v tab.2.2-2.4 a jsou zařazeny do materiálových skupin dle ISO 513.

Tab. 2.2 Řezné podmínky materiálů zařazených do skupiny P<sup>15</sup>

P					
Označení výrobce	Pevnost v tahu $R_m [N \cdot mm^{-2}]$	Řezná rychlost $v_c [m \cdot min^{-1}]$	Šířka záběru ostří $a_p [mm]$	Posuv na otáčku $f [mm]$	Použití
SN80	600÷1000	250÷700	$\geq 1,5$	0,3÷0,45	Hrubování
	1000÷1300	150÷350	$\geq 1,5$	0,3÷0,45	Plynulý řez

Tab. 2.3 Řezné podmínky materiálů zařazených do skupiny K <sup>15</sup>

K					
Označení výrobce	Tvrdost [HB]	Řezná rychlost $v_c$ [m.min <sup>-1</sup> ]	Šířka záběru ostří $a_p$ [mm]	Posuv na otáčku $f$ [mm]	Použití
SH2	140÷210	400÷1200	0,3÷1,0	0,2÷0,6	Dokončování Plynulý řez
	220÷240	300÷800	0,3÷1,0	0,2÷0,6	
	250÷280	150÷500	0,3÷1,0	0,2÷0,6	
SN60	140÷210	400÷1200	0,3÷1,0	0,2÷0,6	Dokončování Plynulý řez
	220÷240	300÷800	0,3÷1,0	0,2÷0,6	
	250÷280	150÷450	0,3÷1,0	0,2÷0,6	
SN80	140÷210	300÷1000	≥ 1,5	0,25÷0,9	Hrubování Plynulý řez
	220÷240	200÷800	≥ 1,5	0,25÷0,9	
	250÷280	100÷400	≥ 1,5	0,25÷0,9	
SL500	140÷210	300÷1500	≥ 1,5	0,25÷0,9	Hrubování Plynulý řez

Tab. 2.4 Řezné podmínky materiálů zařazených do skupiny H <sup>15</sup>

H			
Označení výrobce	Tvrdost [HRC]	Řezná rychlost $v_c$ [m.min <sup>-1</sup> ]	Přepočítat hodnoty pro tloušťku třísky $h_D$ [mm]
SH2	48	60÷300	≤ 0,18
	52	50÷220	≤ 0,16
	56	40÷200	≤ 0,14
	60	30÷180	≤ 0,12
	64	30÷140	≤ 0,10

## 2.2 Iscar

Firma ISCAR Ltd. se sídlem v izraelském Tefanu patří již řadu let ke světové špičce v oblasti vývoje, výroby a celosvětové distribuce obráběcích nástrojů a řezných materiálů, které nacházejí uplatnění v nejrůznějších průmyslových odvětvích. Strategie firmy spočívá v důrazu na vysokou kvalitu a výkonnost vyráběných nástrojů a řezných materiálů. Tato společnost zaměřuje svoji výrobu nejen na průmyslové giganty se sériovou i kusovou výrobou, ale také na oblast drobných výrobců s rozmanitou univerzální výrobou.

Výhradní zastupitelská pobočka pro území České republiky ISCAR ČR s. r. o. byla založena roku 1992 v Plzni a patří do skupiny několika desítek zastupitelských organizací působících kromě řady evropských zemí též v Severní a Latinské Americe, Asii, Austrálii a jižní Africe.

### 2.2.1 Základní charakteristiky keramických řezných materiálů

**IN11** – bílá keramika vykazující vysokou houževnatost a odolnost proti opotřebení. Určená pro soustružení litiny při vysokých řezných rychlostech.

**IN420** – černá keramika ( $Al_2O_3/TiCN$ ) povlakovaná metodou PVD. Doporučená pro hrubovací a dokončovací operace na ocelích, chromových ocelích, kalených ocelích a tvrzené litině při vysokých řezných rychlostech.

**IN23** – černá keramika ( $Al_2O_3/TiCN$ ) doporučená pro polohrubovací a dokončovací operace na šedé a nodulární litině.

### 2.2.2 Přehled použití keramických řezných materiálů

Přehled použití jednotlivých řezných materiálů, jak jej uvádí výrobce, je uveden v tab. 2.6 a je rozdělen dle ISO 513.

Tab. 2.6 Přehled řezných materiálů rozdělených dle ISO 513<sup>16</sup>

Označní výrobce	ISO 513	Aplikační rozsah						P	M	K	N	S	H			
		05 15 25 35 45														
		01	10	20	30	40	50	oceli	korozivzdorné oceli	litiny	Neželezné kovy a slitiny	žárovzdorné materiály	Zušlechťované oceli	soustružení	frézování	zapichování
IN11	K 10									●		●		●		
	S 10									●		●		●		
IN23	K 10									●			●	●		
	H 20									●			●	●		
IN420	K 10							○		●			●	●		
	H 20							○		●			●	●		

● Hlavní použití ○ Další použití

## 2.3 Greenleaf

Americká firma s hlavními sídly v Pensylvánii a Severní Karolíně, která působí na trhu již od roku 1945. Greenleaf Corporation je jedna z vůdčích světových společností zabývajících se vývojem a výrobou řezných nástrojů. Vyrábí celou řadu vyměnitelných břitových destiček ze slinutého karbidu a keramiky a zabývá se také konstrukcí upínacích systémů (držáků) nástrojů. Výroba je zaměřena na kovoobráběcí průmysl zasahující oblasti výroby plynových turbín, ocelí, lékařských nástrojů, komponentů pro automobilový a drážní průmysl.

### 2.3.1 Základní charakteristiky keramických řezných materiálů

**WG 300** – keramika vyztužená whiskery s vynikající odolností proti opotřebení a vysokou rázovou odolností při vysokých řezných rychlostech. WG 300 je vhodnější pro obrábění slitin na bázi niklu a kobaltu a dalších tvrdých materiálů při vyšších řezných rychlostech, než při použití slinutých karbidů.

**WG 600** – povlakovaná keramika vyztužená whiskery s výhodnými vlastnostmi při dokončovacím obrábění slitin o vysoké tvrdosti.

**HSN 100** – jde o druh keramiky na bázi nitridu křemíku, má vysokou houževnatost a je vhodná pro vysoké řezné rychlosti. Je určena pro soustružení a frézování všech druhů litin.

**HSN 200** – povlakovaná nitridová keramika, která nabízí výjimečnou houževnatost, dlouhou životnost nástroje a vynikající kvalitu povrchu při vysokých řezných rychlostech.

**GSN** – nitridová keramika lisovaná za tepla s jedinečnými tvrdícími přísadami. GSN nabízí vyšší odolnost proti opotřebení při vysokorychlostním obrábění šedé litiny.

**GEM 7** – směsná oxidová keramika ( $Al_2O_3 + TiC$ ) vhodná především pro soustružení vysoce tvrdých slitin.

**GEM 19** – oxidová keramika lisovaná za studena, určená pro hrubovací a dokončovací obrábění litin. Je možné ji použít pro přerušovaný řez nebo pro práci na starých strojích.

**CSN 100** – jde o nitridovou keramiku lisovanou za studena. CSN 100 je dobrá volba pro vysokorychlostní obrábění šedé litiny.

**CSN 200** – nitridová keramika lisovaná za studena. Její použití je vhodné pro vysokorychlostní obrábění šedé litiny.

### 2.3.2 Přehled použití keramických řezných materiálů

Přehled použití jednotlivých řezných materiálů, jak jej uvádí výrobce, je uveden v tab. 2.5 a je rozdělen dle ISO 513.

Tab. 2.5 Přehled řezných materiálu rozdělených dle ISO 513<sup>14</sup>

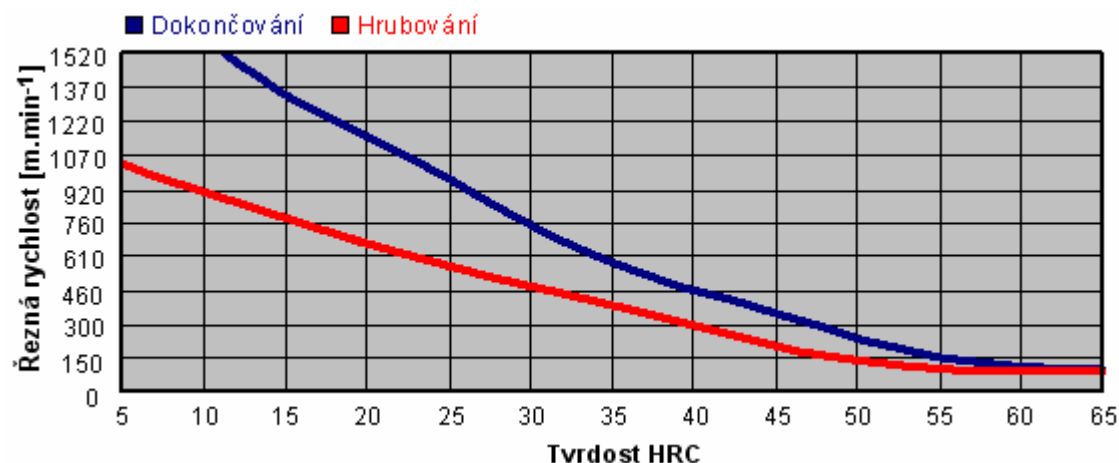
Označení výrobce	ISO 513	Aplikační rozsah										P oceli	M korozivzdorné oceli	K litiny	N Neželezné kovy a slitiny	S žáruvzdorné materiály	H Zušlechťované oceli		soustrožení	frézování	zapichování
		01	10	20	30	40	50														
WG300	S 20																				
	H 10																				
WG600	S 10																				
	H 20																				
HSN100	K 10																				
GSN	K 10																				
SCN100	K 10																				
GEM7	K 10																				
	H 10																				
GEM19	K 10																				
	P 10																				

● Hlavní použití

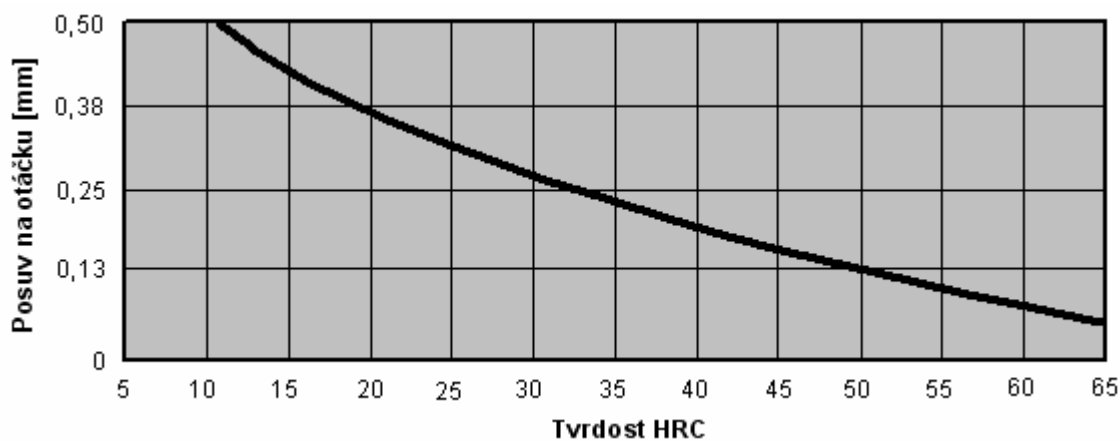
○ Další použití

### 2.3.3 Doporučené řezné podmínky

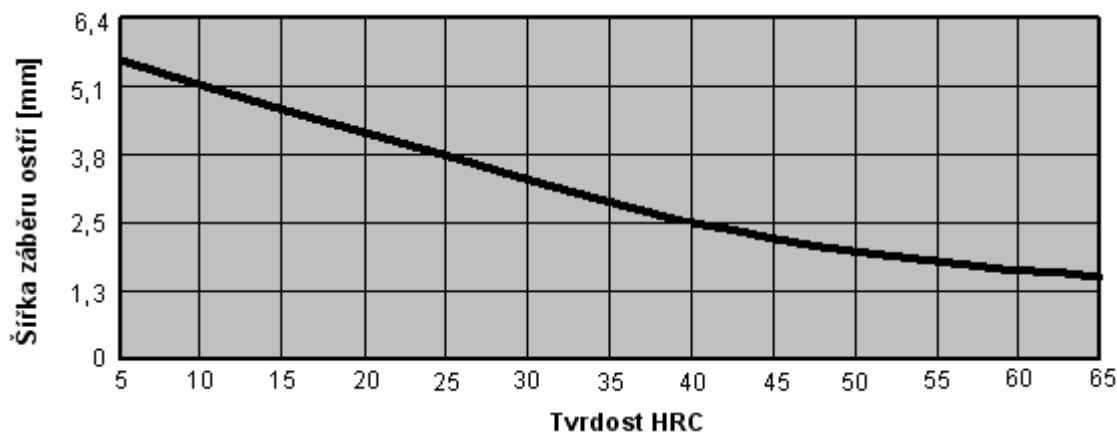
GSN a HSN-100: doporučené řezné podmínky pro tyto nástrojové materiály zařazené do skupiny **K** dle ISO 513 jsou znázorněny na obr. 2.1-2.3.



Obr. 2.1 Závislost řezné rychlosti a tvrdosti obráběného materiálu (GSN, HSN-100) <sup>14</sup>

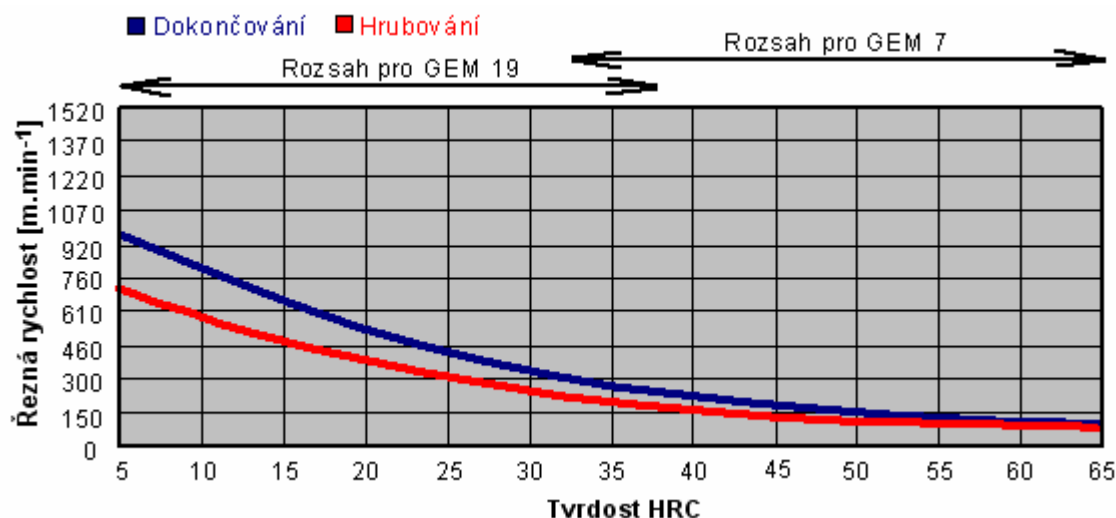


Obr. 2.2 Závislost posuvu na tvrdosti obráběného materiálu (GSN, HSN-100) <sup>14</sup>

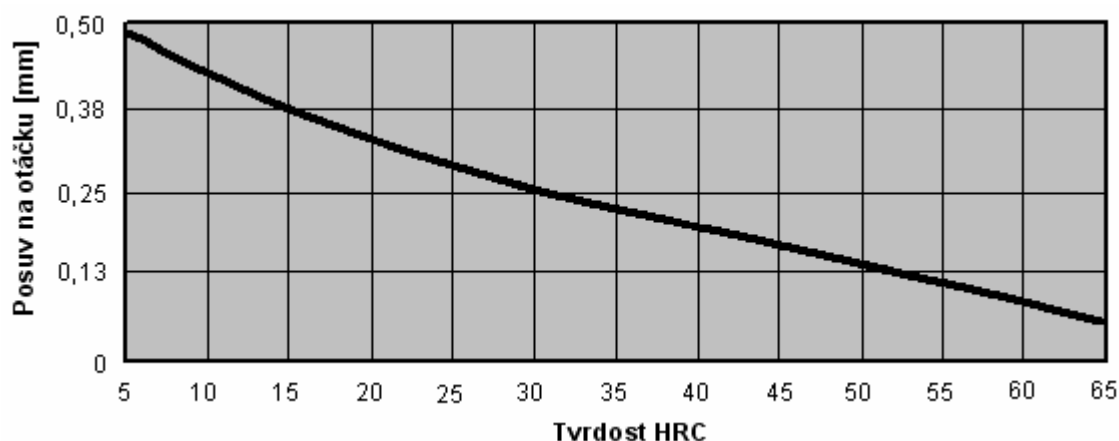


Obr. 2.3 Závislost šířky záběru ostří na tvrdosti obráběného materiálu (GSN, HSN-100) <sup>14</sup>

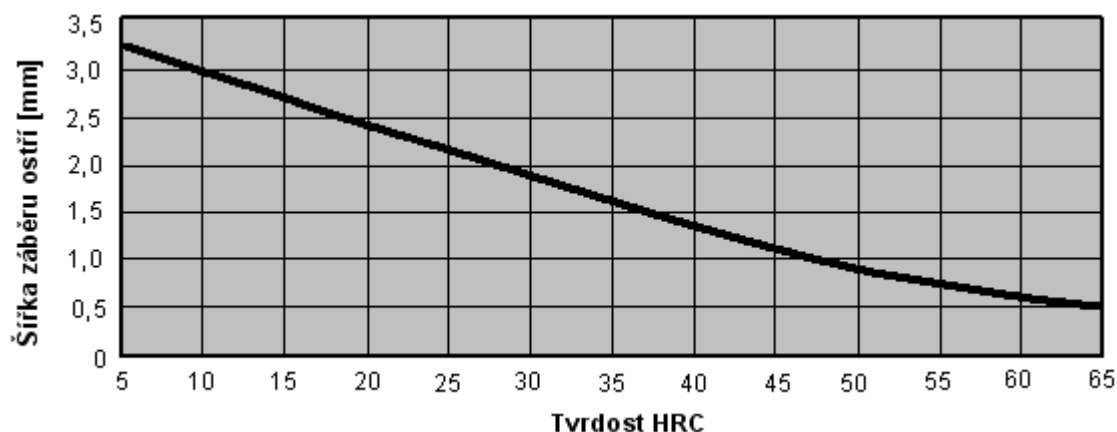
GEM-7 a GEM-19: doporučené řezné podmínky pro nástrojové materiály GEM7 zařazené do skupiny **H** a GEM 19 zařazené do skupiny **P**, dle ISO 513 jsou znázorněny na obr. 2.4-2.6.



Obr. 2.4 Závislost řezné rychlosti a tvrdosti obráběného materiálu (GEM-7,19) <sup>14</sup>



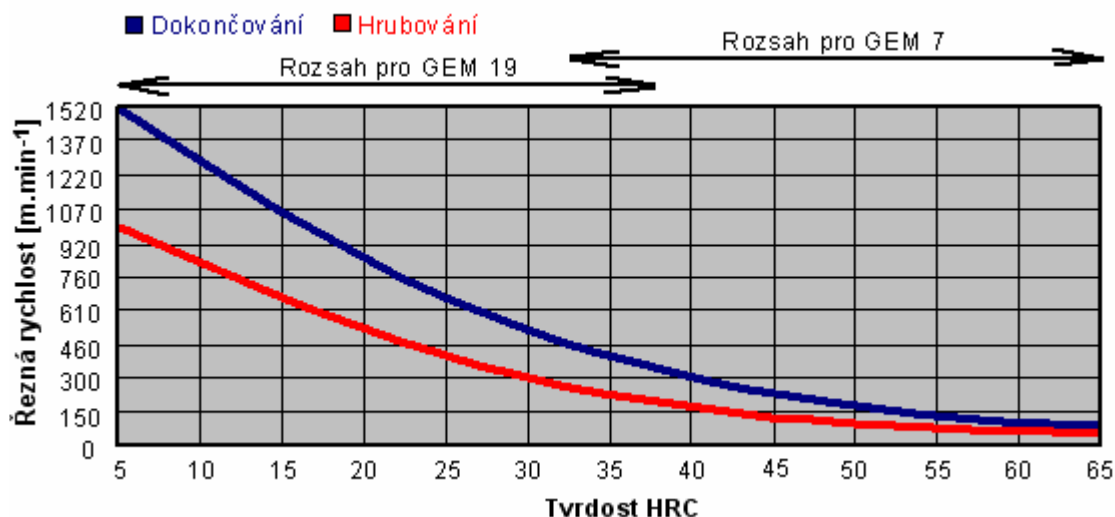
Obr. 2.5 Závislost posuvu na tvrdosti obráběného materiálu (GEM-7,19) <sup>14</sup>



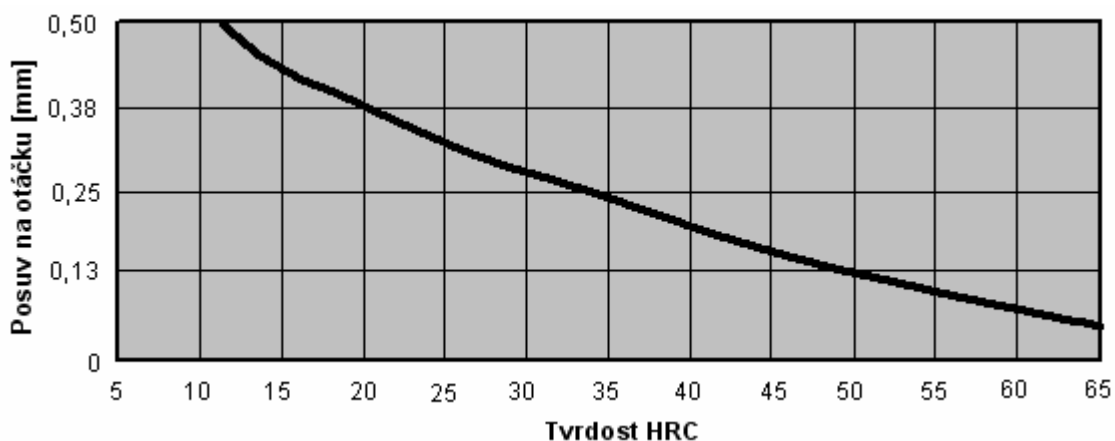
Obr. 2.6 Závislost šířky záběru ostří na tvrdosti obráběného materiálu (GEM-7,19) <sup>14</sup>



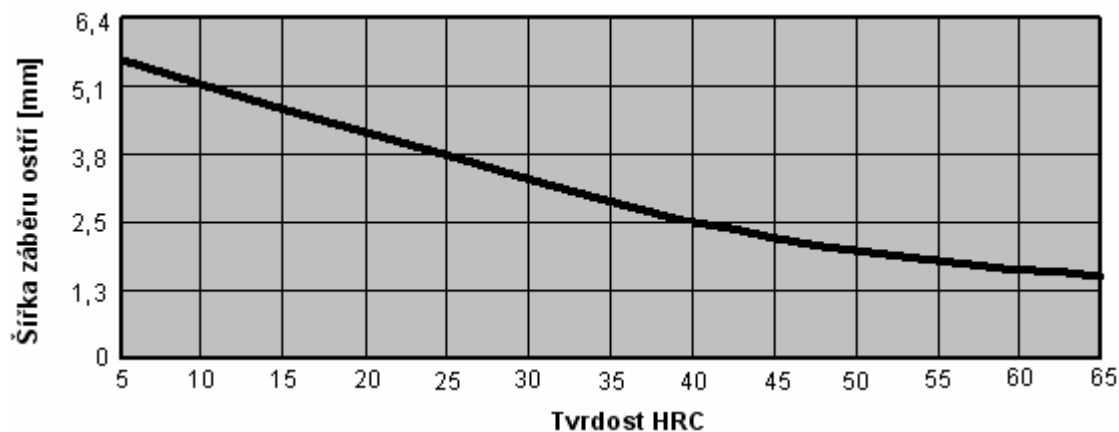
GEM-7 a GEM-19: doporučené řezné podmínky pro tyto nástrojové materiály zařazené do skupiny **K** dle ISO 513 jsou znázorněny na obr. 2.7-2.9.



Obr. 2.7 Závislost řezné rychlosti a tvrdosti obráběného materiálu (GEM-7,19) <sup>14</sup>



Obr. 2.8 Závislost posuvu na tvrdosti obráběného materiálu (GEM-7,19) <sup>14</sup>



Obr. 2.9 Závislost šířky záběru ostří na tvrdosti obráběného materiálu (GEM-7,19) <sup>14</sup>

## 2.4 Kennametal

Kennametal Inc., s hlavním sídlem v Severní Americe a pobočkami v Evropě, je jeden ze světových výrobců řezných nástrojů, obráběcích systémů a vyspělých řezných materiálů. Společnost se zaměřuje na výrobu produktů ze slinutých karbidů, rychlořezné oceli, keramiky, PCD, KNB a dalších materiálů, které jsou žárovzdorné a odolné proti opotřebení a tlaku.

Kennametal produkuje své výrobky pro mnoho odvětví, jako například letecký, automobilový, energetický a těžební průmysl.

### 2.4.1 Základní charakteristiky keramických řezných materiálů

**K090** – směsná oxidová keramika ( $\text{Al}_2\text{O}_3 + 30\%\text{TiC}$ ). Má vysokou houževnatost a rázovou odolnost za vysokých teplot. Vhodná pro frézování ocelí (uhlíkových, legovaných, nástrojových, nerezových) a litin do tvrdosti 60 HRC.

**KYK10** – dobrá lomová houževnatost a vynikající odolnost proti opotřebení nabízející o 20% delší životnost nástroje. Vhodná pro vysokorychlostní soustružení litin s plynulým a lehce přerušovaným řezem.

**KYK25** – povlakovaná keramika, která poskytuje vynikající odolnost proti opotřebení a až o 30 % delší životnost nástroje. Používá se především pro vysoce výkonné soustružení litin.

**KY1310** – nitridová keramika navržená pro plynulé soustružení šedé litiny. Tato keramika poskytuje maximální odolnost proti abrazivnímu opotřebení, a tím prodlužuje životnost nástroje. Lze použít pro hrubovací i dokončovací soustružení při řezné rychlosti až  $1100 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ .

**KY1540** – keramika s vynikající houževnatostí a dlouhou životností nástroje. Vhodná pro soustružení při přerušovaném řezu korozivzdorných ocelí a žárovzdorných slitin.

**KY2100** – keramika s vysokou odolností proti opotřebení. Ideální pro vysokorychlostní soustružení a frézování. Vhodná pro dokončovací obrábění tvrdých žáropevných a žárovzdorných slitin (až do 48 HRC).

**KY3400** – keramika na bázi nitridu křemíku s CVD povlakem, který zvyšuje odolnost proti opotřebení. Je určena pro vysokorychlostní soustružení tvárné litiny. Používá se pro řezné rychlosti od 400 do  $600 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ .

**KY3500** – nitridová keramika s vysokou houževnatostí a odolností proti opotřebení. Byla vyvinuta pro plynulé i přerušované soustružení šedé litiny a poskytuje vysokou spolehlivost. Dosahuje řezných rychlostí až  $1000 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$  pro plynulý řez a  $300 \div 500 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$  pro přerušovaný řez.

**KY4300** – oxidová keramika vyztužená whiskery poskytující vysokou mechanickou pevnost a lomovou houževnatost. Dosahuje velmi dobré kvality povrchu při vysokých řezných rychlostech.

### 2.4.2 Přehled použití keramických řezných materiálů

Přehled použití jednotlivých řezných materiálů, jak jej uvádí výrobce, je uveden v tab. 2.7 a je rozdělen dle ISO 513.

Tab. 2.7 Přehled řezných materiálů rozdělených dle ISO 513<sup>17,18</sup>

Označení výrobce	ISO 513	Aplikační rozsah						P	M	K	N	S	H			
		05	15	25	35	45										
		01	10	20	30	40	50	ocel	korozivzdorné oceli	litiny	Neželezné kovy a slitiny	žárovzdorné materiály	Zušlechťované oceli	soustružení	frézování	zapichování
K090	K 01							●	●	●				○	●	
	M 10							●	●	●				○	●	
	P 10							●	●	●				○	●	
KYK10	K 10									●				●		
KYK25	K 25									●				●		
KY1310	K 01									●				●		
KY1540	M 10								●			●		●		●
	S 10								●			●		●		●
KY2100	S 10									○		●		●	●	
KY3400	K 10									●				●		
KY3500	K 10									●				●		
KY4300	S 10									●		●	●	●		
	K 10									●		●	●	●		
	H 10									●		●	●	●		

● Hlavní použití ○ Další použití

### 2.4.3 Doporučené řezné podmínky

Doporučené řezné podmínky keramických materiálů jsou uvedeny v tab. 2.8 a 2.9, a jsou zařazeny do materiálových skupin dle ISO 513.

Tab. 2.8 Řezné podmínky materiálů zařazených do skupiny S<sup>17</sup>

S					
Označení výrobce	Tvrdost [HB]	Řezná rychlost $v_c$ [m.min <sup>-1</sup> ]	Šířka záběru ostří $a_p$ [mm]	Posuv na otáčku $f$ [mm]	Použití
KY4300	135÷320	105÷260	0,5÷1,5	0,05÷0,50	Dokončování plynulý řez
	150÷425	105÷290	0,5÷1,5	0,05÷0,50	
	140÷475	105÷350	0,5÷1,5	0,05÷0,50	
KY1540	135÷320	105÷260	0,5÷1,5	0,05÷0,50	Dokončování, přerušovaný řez
	150÷425	105÷290	0,5÷1,5	0,05÷0,50	
	140÷475	105÷350	0,5÷1,5	0,05÷0,50	
KY2100	135÷320	140÷290	0,5÷1,5	0,05÷0,50	Dokončování plynulý řez
	150÷425	140÷290	0,5÷1,5	0,05÷0,50	
	140÷475	170÷350	0,5÷1,5	0,05÷0,50	

Tab. 2.9 Řezné podmínky materiálů zařazených do skupiny K<sup>18</sup>

K				
Označení výrobce	Řezná rychlost $v_c$ [m.min <sup>-1</sup> ]	Šířka záběru ostří $a_p$ [mm]	Posuv na otáčku $f$ [mm]	Použití
KY1310	600÷100	0,1÷0,6	0,2÷2,5	Hrubování i dokončování, plynulý řez
KY3500	600÷1000	0,1÷0,7	0,2÷3,0	Hrubování i dokončování, plynulý i přerušovaný řez
KY3400	350÷800	0,1÷0,3	0,2÷2,5	Dokončování, plynulý řez

## 2.5 Saint Gobain Advanced Ceramics

SGAC, s.r.o. Turnov vznikla v srpnu roku 1999, kdy společnost Saint-Gobain Céramiques Avanceés Desmarquest (Francie) odkoupila veškeré aktivity týkající se keramiky od české firmy Dias Turnov, s.r.o.

SGAC, s.r.o. Turnov se zabývá třemi hlavními výrobními aktivitami. První je výroba keramických těsnících destiček do vodovodních baterií a montáž a prodej kompletních vložek do pákových baterií. Druhým odvětvím je výroba keramických filtrů na roztavené kovy pro slévárnictví. Třetí oblast zahrnuje speciální technickou keramiku, jako jsou řezné nástroje (vyměnitelné břitové destičky pro obrábění kovů), nástroje na tváření trubek, dílce z elektrokeramiky a náročné výrobky z High-Tech keramiky.

### 2.5.1 Základní charakteristiky keramických řezných materiálů

**DISAL 100 (D 100)** – čistá oxidová keramika (99%  $Al_2O_3$ ), která vyniká tvrdostí a odolností proti opotřebení za vysokých teplot až 1200°C. S výhodou ji lze použít při řezných rychlostech až 1000 m.min<sup>-1</sup>, zvláště při obrábění šedé litiny a konstrukčních ocelí nepřerušovaným řezem.

**DISAL 200 (D 210, D 220, D 240)** – směsná oxidová keramika (na bázi  $Al_2O_3$ ,  $ZrO_2$  a  $CoO$ ). Nabízí kromě tvrdosti a odolnosti proti opotřebení za vysokých teplot také vysokou houževnatost. Tento typ je vhodný pro obrábění šedé, sférické i temperované litiny a konstrukčních, zušlechťovaných a rychlořezných ocelí při přerušovaném řezu.

**DISAL 300 (D 320)** – směsná oxidová keramika ( $Al_2O_3+TiC$ ) s vysokou tvrdostí, houževnatostí a odolností proti tepelným šokům. Umožňuje obrábění při částečně přerušovaném řezu, při kterém lze použít řeznou kapalinu. Lze s ní obrábět tvrzenou litinu a kalené oceli (až do 64 HRC). Zvláště vhodná oblast použití je dokončovací frézování.

**DISAL 400 (D 420, D 450, D 460, D 470)** – keramika na bázi nitridu křemíku s vysokou mírou houževnatosti a tvrdosti. Používá se pro obrábění přerušovaným řezem, při kterém je možné použít provozní kapalinu. Hodí se pro

obrábění všech druhů litin i s kúrou na povrchu odlitku. Je určena zvláště pro hrubovací frézování při dosažení maximálního řezného výkonu.

### 2.5.2 Přehled použití keramických řezných materiálů

Přehled použití jednotlivých řezných materiálů, jak jej uvádí výrobce, je uveden v tab. 2.10 a je rozdělen dle ISO 513.

Tab. 2.10 Přehled řezných materiálů rozdělených dle ISO 513 <sup>22</sup>

Označení výrobce	ISO 513	Aplikační rozsah						P	M	K	N	S	H			
		05	15	25	35	45										
		01	10	20	30	40	50	oceli	korozivzdorné oceli	litiny	Neželezné kovy a slitiny	žáruvzdorné materiály	Zušlechťované oceli	soustružení	frézování	zapichování
D100	K 10							○		●				●		
D240	P 20							●		●				●		
	K 20							●		●				●		
D320	K 10									●			●	●	○	
	H 10									●			●	●	○	
D420	K 25									●					●	

● Hlavní použití ○ Další použití

## 2.6 TaeguTec

TaeguTec Ltd. je společnost se sídlem v Jižní Koreji a její historie se datuje od roku 1916. V roce 1952 vzniká společnost Korea Tungsten Co. Ltd, která vstoupila na trh s nástroji pro třískové obrábění. Od samého počátku své existence patří mezi největší dodavatele řezné keramiky pro různé oblasti průmyslu. V srpnu roku 1998 byla společnost Korea Tungsten Co. Ltd zakoupena finanční skupinou IMC Group a získala svůj současný název TaeguTec Ltd. V květnu roku 2006 odkoupila 80% akcií společnost Berkshire Hathaway.

Tato společnost se specializuje především na řezné nástroje z karbidu wolframu a dalších materiálů (keramiky, rychlořezné oceli, PCD, KNB, atd.) pro kovoobráběcí průmysl.

### 2.6.1 Základní charakteristiky keramických řezných materiálů

**AW20** – keramika na bázi  $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{ZrO}_2$  je vhodná pro vysokorychlostní soustružení litin s plynulým řezem. Má výbornou odolnost proti opotřebení, dobrou chemickou stabilitu a odolnost proti vysokým teplotám. Tento materiál je také vhodný pro dokončovací operace kalených materiálů.

**AB20** – tento druh oxidové keramiky ( $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{TiCN}$ ) se používá pro plynulé vysokorychlostní soustružení litin a kalených materiálů. Má výbornou odolnost proti opotřebení a dobrou stabilitu řezné hrany.

**AB30** – keramika na bázi  $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{ZrO}_2$  s hlavním použitím pro kalené materiály a litinu. Tato směsná oxidová keramika s vysokou odolností proti opotřebení a výbornou houževnatostí se využívá především pro přerušovaný řez.

**AS10** – nitridová keramika využívaná pro obrábění litin s možností použití řezné kapaliny. Vyznačuje se vysokou odolností proti opotřebení, dobrou houževnatostí a odolností proti teplotním šokům.

**AS20** – keramika na bázi  $\text{Si}_3\text{N}_4$  je vhodná pro hrubovací a dokončovací operace žáruvzdorných slitin (především na bázi niklu) s možností použití řeznou kapalinu. Tato keramika má dobrou houževnatost a vysokou stabilitu řezné hrany.

**AS500** – keramika na bázi nitridu křemíku určená pro vysokorychlostní obrábění litin s možností použití řezné kapaliny. Doporučené řezné podmínky pro hrubovací aplikace jsou  $500\div 1000 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$  a pro dokončovací aplikace  $600\div 1200 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ . Lze použít také pro obrábění ocelí.

**SC10** – nitridová keramika s CVD povlakem určená pro vysokorychlostní obrábění šedých litin s možností použití řezné kapaliny. Vyznačuje se vysokou odolností proti opotřebení, dobrou houževnatostí a odolností proti teplotním šokům.

### 2.6.2 Přehled použití keramických řezných materiálů

Přehled použití jednotlivých řezných materiálů, jak jej uvádí výrobce, je uveden v tab. 2.11 a je rozdělen dle ISO 513.

Tab. 2.11 Přehled řezných materiálů rozdělených dle ISO 513<sup>20</sup>

Označení výrobce	ISO 513	Aplikační rozsah						P	M	K	N	S	H			
		05	15	25	35	45		oceli	korozivzdorné oceli	litiny	Neželezné kovy a slitiny	žáruvzdorné materiály	Zušlechťované oceli	soustružení	frézování	zapichování
AB20	H 01									○			●	●		
AB30	H 10									●			●	●		●
	K 10									●			●	●		●
AS10	K 15									●				●		●
AS20	S 01									○		●		●	●	●
AS500	K 10							○		●				●		
SC10	K 10									●				●		
AW20	K 01									●				●		

● Hlavní použití ○ Další použití

### 2.6.3 Doporučené řezné podmínky

Doporučené řezné podmínky řezných materiálů jsou uvedeny v tab.2.12 a 2.9 a jsou zařazeny do materiálových skupin dle ISO 513.

Tab. 2.12 Řezné podmínky materiálů zařazených do skupiny K <sup>21</sup>

K				
Označení výrobce	Řezná rychlost $v_c$ [m.min <sup>-1</sup> ]	Šířka záběru ostří $a_p$ [mm]	Posuv na otáčku $f$ [mm]	Použití
AS 500	400÷1200	0,5÷3,0	0,3÷1,0	Dokončování a hrubování, plynulý řez

## 2.7 Ssangyong

Ssangyong Cement Industrial Co., Ltd. je součástí holdingu Ssangyong Business Conglomerate založeného v roce 1962. Společnost je zaměřena na výrobu magnetických a keramických materiálů pro průmysl. Keramické materiály produkované společností Ssangyong se používají jak v průmyslových odvětvích (kovoobráběcím, automobilním, textilním chemickém, atd.), tak i v domácnostech. Největší zkušenosti má společnost s výrobou keramických vyměnitelných břitových destiček.

### 2.7.1 Základní charakteristiky keramických řezných materiálů

**ST100** – směsná oxidová keramika ( $Al_2O_3+TiC$ ) s velmi dobrou rázovou odolností za vysokých teplot. Vhodná pro soustružení litin, ocelí a tvrdých materiálů.

**ST300** – směsná oxidová keramika ( $Al_2O_3+TiC$ ) s výbornou odolností proti opotřebení. Uplatňuje se při soustružení litin, ocelí a tvrdých materiálů.

**ST500** – směsná oxidová keramika ( $Al_2O_3+TiC$ ) s velmi dobrou rázovou odolností za vysokých teplot. Používá se pro dokončovací soustružení litin, ocelí a tvrdých materiálů.

**SD200** – směsná keramika na bázi oxidu hliníku ( $Al_2O_3+TiC$ ) s výbornou rázovou odolností za vysokých teplot. Při obrábění lze použít provozní kapalinu. Vhodná především pro dokončovací soustružení litin.

**SZ200** – směsná oxidová keramika ( $Al_2O_3+ZrO_2$ ) s vysokou chemickou stabilitou. Používá se pro dokončovací soustružení litin a ocelí.

**SZ300** – jedná se o tvrdší alternativu SZ200 na bázi oxidu hliníku ( $Al_2O_3+ZrO_2+Cr_2O_3$ ). Vhodná pro dokončovací soustružení litin a ocelí.

**SN26** – keramika na bázi nitridu křemíku, která má dobrou houževnatost, odolnost proti opotřebení a rázovou odolnost za vysokých teplot. Používá se pro soustružení i frézování ocelí a litin, především pro hrubovací aplikace. Lze použít pro plynulý i přerušovaný řez.

**SN300** – tvrdší varianta SN26 zpevněná  $Cr_2O_3$ . Tato keramika má dobrou houževnatost a rázovou odolnost za vysokých teplot. Vhodná pro hrub-

bování a vysokorychlostní obrábění litin s plynulým nebo přerušovaným řezem.

**SN400** – nitridová keramika ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ ), která má výbornou odolnost proti opotřebení při vysokých řezných rychlostech. Tato keramika se používá pro hrubovací soustružení a vysokorychlostní obrábění šedé litiny s možností přerušovaného řezu.

**SN500** – tvrdší alternativa SN400 s vylepšenou odolností proti opotřebení při vysokých řezných rychlostech. Nejvhodnější použití je pro vysokorychlostní soustružení litin.

**SN800** – keramika na bázi nitridu křemíku s vysokou stabilitou ostří a dobrou vrubovou houževnatostí. Pro vysokorychlostní soustružení a frézování žáruvzdorných materiálů, vhodná především pro hrubovací aplikace.

### 2.7.2 Přehled použití keramických řezných materiálů

Přehled použití jednotlivých řezných materiálů, jak jej uvádí výrobce, je uveden v tab. 2.13 a je rozdělen dle ISO 513.

Tab. 2.13 Přehled řezných materiálů rozdělených dle ISO 513 <sup>18</sup>

Označení výrobce	ISO 513	Aplikační rozsah										P	M	K	N	S	H			
												oceli	korozivzdorné oceli	litiny	Neželezné kovy a slitiny	žáruvzdorné materiály	Zušlechťované oceli	soustružení	frézování	zapichování
		01	05	10	15	20	25	30	35	40	45									
ST100	K 01											●					●	●		
ST200	P 01											●					●	●		
ST500	H 01											●					●	●		
SD200	K 10																	●		
SZ200	K 05											●						●		
SZ300	P 05											●						●		
SN26	K 10																			
SN300																	●	●	●	
SN400																	●	●	●	
SN500																		●	●	
SN800	S 10																●	●	●	

●

 Hlavní použití

○

 Další použití

### 2.7.3 Doporučené řezné podmínky

Doporučené řezné podmínky řezných materiálů jsou uvedeny v tab.2.14 a jsou zařazeny do materiálových skupin dle ISO 513.



Tab. 2.14 Řezné podmínky pro různé materiály<sup>19</sup>

Označení výrobce	Obráběný materiál	Řezná rychlost $v_c$ [m.min <sup>-1</sup> ]	Šířka záběru ostří $a_p$ [mm]	Posuv na otáčku $f$ [mm]	Druh obrábění
ST 100 ST300 ST500	Šedá litina	150÷800	3,0÷6,0	0,2÷0,5	hrubování
		200÷1200	0,1÷0,5	0,3÷0,5	dokončování
	Tvrzená litina	30÷100	0,5÷1,5	0,1÷0,2	hrubování
		50÷200	0,1÷0,5	0,05÷0,15	dokončování
	Ocel	150÷400	2,0÷5,0	0,2÷0,5	hrubování
		200÷800	0,1÷0,5	0,05÷0,2	dokončování
	Kalené materiály	20÷100	0,5÷1,5	0,1÷0,2	hrubování
		40÷200	0,1÷0,5	0,05÷0,5	dokončování
SD200	Tvárná litina	100÷400	1,0÷2,0	0,1÷0,2	hrubování
		200÷800	0,1÷0,5	0,05÷0,25	dokončování
SZ200 SZ300	Šedá litina	200÷700	2,0÷5,0	0,2÷0,4	hrubování
		300÷1200	0,1÷0,5	0,05÷0,3	dokončování
SN26 SN300 SN400 SN500	Šedá litina	150÷1100	<5,0	0,3÷0,8	hrubování
		250÷1200	<1,0	0,15÷0,4	dokončování
	Tvrzená litina	20÷100	<5,0	1,0÷2,0	hrubování
		60÷200	<1,0	0,5÷1,0	dokončování
SN800	Žáruvzdorné materiály	150÷250	<5,0	0,2÷0,4	hrubování
		150÷450	<1,0	0,1÷0,2	dokončování

## 2.8 Tungaloy

Japonská společnost Tungaloy byla založena roku 1934 a její výroba je zaměřena na nástroje ze slinutých karbidů a z keramiky. Zabývá se především výrobou vyměnitelných břitových destiček a ocelových výrobků, nástrojů odolných proti opotřebení, nástrojů pro stavebnictví, a dalších nástrojů z pokročilých materiálů.

### 2.8.1 Základní charakteristiky řezných keramických materiálů

**LX11** – směsná oxidová keramika ( $Al_2O_3 + TiCN$ ) s povlakem TiN. Díky své vysoké pevnosti a dobré houževnatosti je vhodná pro plynulé soustružení tvrdých materiálů, především litin.

**LX23** – směsná oxidová keramika na bázi ( $Al_2O_3 + TiN$ ) pro spojitě obrábění litin. Vyznačuje se vysokou houževnatostí při zachování dobré odolnosti proti opotřebení.

**FX105** – keramika na bázi nitridu křemíku používaná k obrábění litin vysokými řeznými rychlostmi. Má vysokou pevnost, houževnatost a tepelné charakteristiky v porovnání s keramikou na bázi  $Al_2O_3$ .

**CX710** – nitridová keramika používána k obrábění litin za vysokých řezných rychlostí. Má vyšší houževnatost a tepelnou vodivost než FX 105.

**CXC73** – keramika na bázi  $\text{Si}_3\text{N}_4$  – povlakovaná CVD. Vyznačuje se dobrou odolností proti opotřebení a dlouhou životností tenké a stabilní vrstvy  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .

### 2.8.2 Přehled použití jednotlivých řezných keramických materiálů

Přehled použití jednotlivých řezných materiálů, jak jej uvádí výrobce, je uveden v tab. 2.15 a je rozdělen dle ISO 513.

Tab. 2.15 Přehled řezných materiálů rozdělených dle ISO 513<sup>23</sup>

Označení výrobce	ISO 513	Aplikační rozsah										P	M	K	N	S	H			
												oceli	korozivzdorné oceli	litiny	Neželezné kovy a slitiny	žáruvzdorné materiály	Zušlechťované oceli	soustružení	frézování	zapichování
		05	15	25	35	45	01	10	20	30	40									
LX11	H 01											●		○			●	●		
	P 01											●		○			●	●		
LX21	K 01											●		●				●		
	P 01											●		●				●		
FX105	K 20													●				●		
CX710	K 20													●				●		
CXC73	K 10													●				●		

● Hlavní použití ○ Další použití

### 2.8.3 Doporučené řezné podmínky

Doporučené řezné podmínky řezných materiálů jsou uvedeny v tab.2.16 a jsou zařazeny do materiálových skupin dle ISO 513.

Tab. 2.16 Řezné podmínky materiálů zařazených do skupiny K<sup>18</sup>

H					
Označení výrobce	Tvrdost [HRC]	Řezná rychlost $v_c$ [ $\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$ ]	Šířka záběru ostří $a_p$ [mm]	Posuv na otáčku $f$ [mm]	Použití
LX11	45	50	0,05	0,05	Dokončování a hrubování, plynulý řez
		100	0,08	0,30	
		150	0,10	0,50	

### 3 HODNOCENÍ ŘEZIVOSTI NÁSTROJE

Nástroj musí zabezpečit požadovaný tvar součásti, rozměrovou přesnost, drsnost a optimální trvanlivost ostří. Řezivost označujeme jako souhrn vlastností nástrojového materiálu, které ovlivňují jeho vhodnost k obrábění.<sup>2</sup>

Nástroj dokáže řezat kov, protože je ostrý a tvrdší než obrobek (nejméně o 5-6 HRC).<sup>2</sup> Nástroj vhodný pro určitou operaci obrábění musí být kombinací geometrie bříty a řezného materiálu, která musí zohledňovat:<sup>4</sup>

- druh operace obrábění;
- materiál a tvar obrobku;
- obráběcí stroj;
- řezné podmínky;
- požadovanou jakost povrchu;
- stabilitu technologie obrábění;
- náklady na obrábění.

Zároveň je nutné zohlednit také to, zda se jedná o hrubovací nebo dokončovací operace, kontinuální nebo přerušovaný řez a zvolené přídatky na obrábění.

Požadovaný stav obrobeného povrchu a přesnost rozměrů může ovlivnit volbu druhu řezného materiálu, protože při použití různých řezných materiálů lze dosáhnout různé kvality povrchu. Poměry v oblasti stability mají velký vliv na potřebné vlastnosti tvaru bříty, proto v mnoha případech nelze použít křehké materiály.

Tři hlavní vlastnosti materiálu, které mají zásadní vliv na řezné podmínky jsou:<sup>4</sup>

- odolnost proti opotřebení;
- houževnatost (odolnost proti lomu);
- tvrdost za tepla (schopnost neztrácet tvrdost a chemickou stálost při vysokých teplotách).

#### 3.1 Vlastnosti ideálního řezného materiálu

Polykrystalický diamant je velmi tvrdý, ale velmi křehký. Keramika je tvrdší než slinutý karbid a má lepší tepelnou a chemickou stálost. Současným trendem jsou snahy o vzájemnou kombinaci řezných materiálů, aby se výsledné vlastnosti co nejvíce přibližovaly ideálním vlastnostem řezného materiálu.

Ideální řezný materiál lze charakterizovat těmito vlastnostmi:<sup>4</sup>

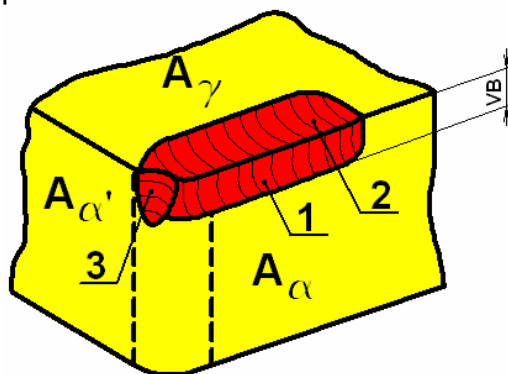
- dostatečná tvrdost, která by zajistila odolnost proti opotřebení a plastické deformaci bříty;
- vysoká houževnatost, jako ochranu proti lomu;
- chemicky neutrální chování vůči materiálu obrobku;
- chemická stabilita, která by zajistila odolnost proti oxidaci a difúzi;
- dobrá odolnost proti zatížení tepelným šokem.

### 3.2 Opotřebení nástroje

Opotřebení nástroje je složitý proces, který závisí na mnoha faktorech, zejména na fyzikálních a mechanických vlastnostech obráběného a nástrojového materiálu, druhu obráběné operace a řezu (plynulý nebo přerušovaný), geometrii nástroje řezných podmínkách apod. Mezi hlavní druhy opotřebení patří abraze, adheze, difúze, oxidace, plastická deformace a křehký lom. U keramických břitových destiček se však díky svým vlastnostem vyskytuje pouze abraze, oxidace a křehký lom.

Vzhled břitu nástroje z řezné keramiky se všemi typickými formami opotřebení je znázorněn na obr. 3.5. Opotřebení břitu nástroje vzniká především jeho mechanickým zatěžováním a projevuje se zde abrazivní účinek tvrdých částic třísky a oxidů železa  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  za působení vysoké teploty. V důsledku toho dochází k odbrušování a mikrovylamování částic na ploše hřbetu - tzv. fazetka opotřebení na hřbetě (obr. 3.5 -1). Dále vzniká výmol na čele (obr. 3.5 -2) a sekundární (oxidační) hřbetní rýha ( obr. 3.5 -3) nástroje.<sup>9</sup>

U řezné keramiky vede zvyšování teploty řezání ke vzniku a šíření trhlinek, které vznikají při opracování povrchu břitu (broušení, honování). V důsledku toho dochází k vylamování částíček břitu. Velmi nepříznivá je kombinace mechanického a tepelného namáhání, která často vede k jejímu náhlému porušení křehkým lomem, protože řezná keramika není schopna v oblasti řezných teplot plastické deformace.



Obr. 3.5 Formy opotřebení břitové destičky z řezné keramiky

Hlavním problémem u řezné keramiky je vznik mikrotrhlin, které společně s mechanickým a tepelným namáháním mohou vést až k náhlému porušení břitové destičky. Z tohoto důvodu se hledají cesty jak ochránit řezný klín:<sup>11</sup>

- změna složení (např. přidáním  $\text{ZrO}_2$ ,  $\text{TiN}$ ,  $\text{TiC}$ ,  $\text{TiCN}$ );
- vyztužení whiskery;
- zkvalitnění výroby (zvýšením homogenity, jemnozrnnost, malý výskyt defektů) ;
- využití povlakových vrstev (pomocí metod CVD, PVD, PACVD) ;
- snížení tepelného zatížení břitu;
- dodržení základních zásad použití (tuhost soustavy stroj-nástroj-obrobek; odstranění kůry obráběného polotovaru - odlitky, výkovky; sražení hran, snížení hodnoty posuvu při najíždění a vyjíždění z řezu; správná volba geometrie; tvaru a velikosti břitové destičky.

### 3.2.1 *Formy opotřebení*

Opotřebení lze měřit přímými nebo nepřímými metodami.

#### Přímé měření opotřebení:<sup>3</sup>

- měření změn opotřebení rozměrů bříty v závislosti na čase (na mikroskopu);
- měření hmotnostního úbytku nástroje (konvenčně, nebo radioizotopovou metodou).

#### Nepřímé měření opotřebení:<sup>3</sup>

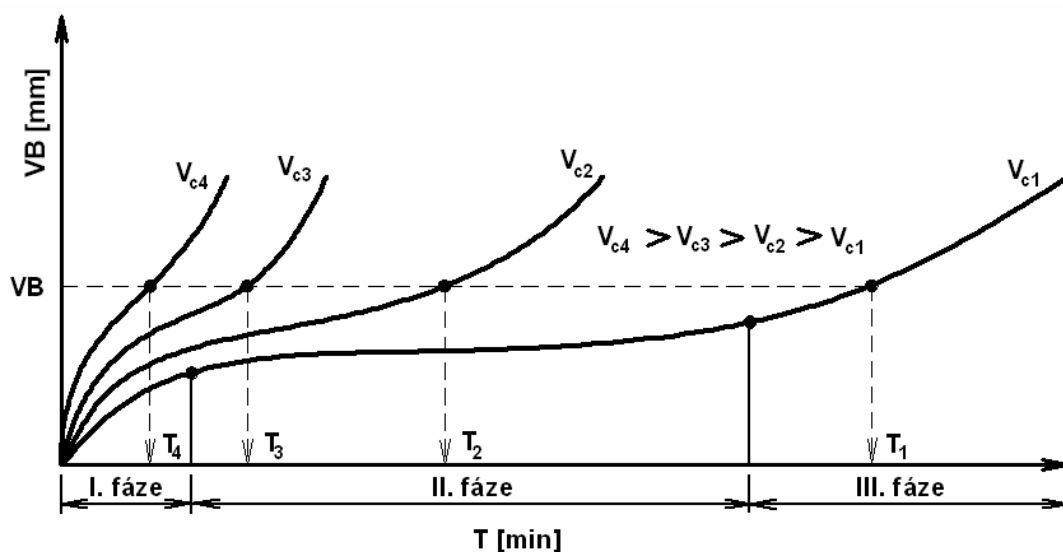
- měření změny velikosti sil působících při obrábění;
- měření nárůstu výkonu potřebného k obrábění;
- měření změny teploty obrobku, nástroje nebo třísek;
- sledování výskytu ostřin na hranách obrobku;
- sledování výskytu lesklých proužků na obrobeném povrchu, zhoršení drsnosti povrchu;
- měření změn rozměrů obrobené součásti;
- měření nadměrné hlučnosti při obrábění;
- analýza vibrací systému stroj-nástroj-obrobek rozbořem chvění a kmitání.

Trvanlivost lze definovat jako součet všech čistých časů řezání od počátku řezání po předem stanovenou hodnotu zvoleného kritéria opotřebení bříty rezného nástroje. Kritérium opotřebení a jeho hodnota musí být stanoveny tak, aby po celou dobu trvanlivosti nástroje měl obrobek požadovaný tvar, rozměry a kvalitu povrchu. Trvanlivost nástroje závisí především na metodě obrábění, vlastnostech obráběného a nástrojového materiálu a řezných podmínkách.

Životnost je definována jako součet všech časů trvanlivostí nebo jako celková doba funkce nástroje (od uvedení do činnosti až po jeho vyřazení). Životnost vyměnitelných břitových destiček končí po skončení trvanlivosti všech jejich břitů.

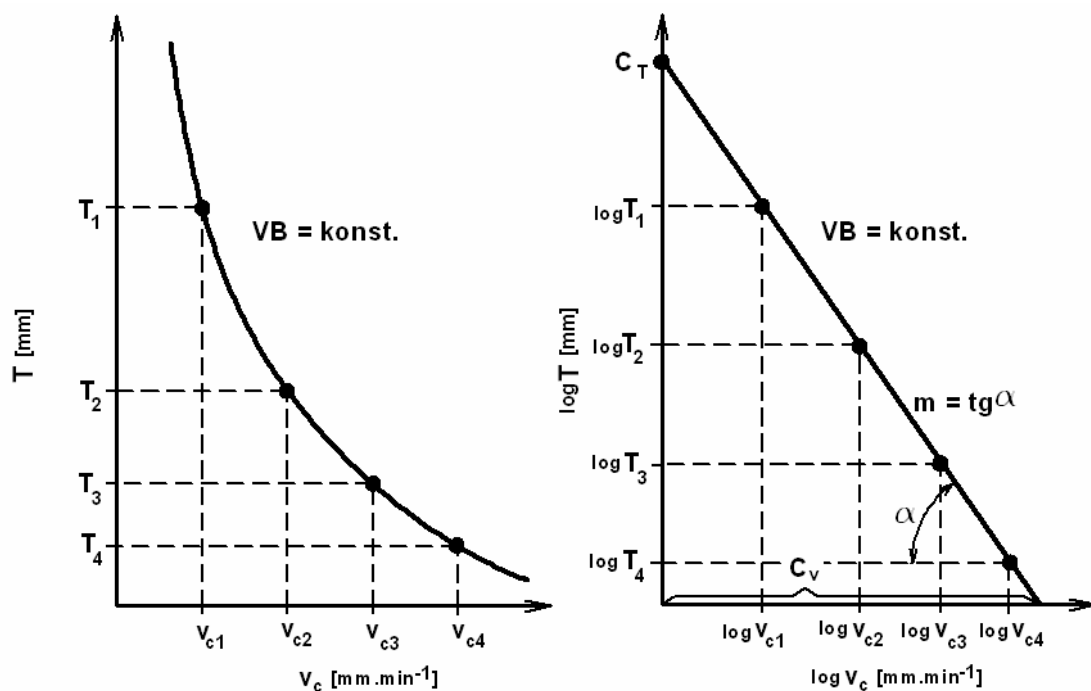
Za normálních podmínek opotřebení rezného nástroje se opotřebení projevuje na zhoršené kvalitě obráběného povrchu. Při větším opotřebení nástroje se zvětší styková plocha mezi nástrojem a obrobkem a tím i tlaky na tomto rozhraní, což může vést k zadírání nástroje nebo ke křehkému lomu a následnému zničení nástroje.

Nejjednodušší metodou hodnocení opotřebení je analýza pomocí rozborů křivek opotřebení (obr. 3.6). Jako měřená veličina se nejčastěji používá šířka opotřebení fazetky na hřbetě **VB** (obr. 3.5), u kterého se zpravidla určuje *pásma záběhu* (I. fáze), *pásma normálního opotřebení* (II. fáze) a *pásma zrychleného opotřebení* (III. fáze). Výsledné křivky se využívají pro stanovení dílčích účinků kvality bříty, řezných podmínek, řezného prostředí, atd. na trvanlivosti bříty (*T*). Časový rozvoj hloubky výmolu na čele **KT** má zpravidla parabolický průběh bez pásma normálního opotřebení.



Obr. 3.6 Časové křivky rozvoje šířky opotřebení fazetky na hřbetě v závislosti na řezné rychlosti<sup>3</sup>

Z řezných podmínek má největší vliv na trvanlivost nástroje řezná rychlost. Postup analýzy je takový, že pro stanovenou konstantní hodnotu vybraného kritéria opotřebení (fazetky na hřbetě  $VB$ , případně hloubky výmolu na čele  $KT$ ) jsou z časových křivek  $VB$  odečteny hodnoty trvanlivosti  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$ ,  $T_4$ , které odpovídají zvoleným řezným rychlostem  $v_{c1}$ ,  $v_{c2}$ ,  $v_{c3}$ ,  $v_{c4}$  (obr. 3.7 vlevo). Body o souřadnicích  $v_c - T_1$ ,  $v_{c2} - T_2$ ,  $v_{c3} - T_3$ ,  $v_{c4} - T_4$  jsou poté vyneseny do diagramu s logaritmickými souřadnicemi  $T$  a  $v_c$ , kde tvoří obvykle lineární závislost, která odpovídá zvolené hodnotě  $VB$  (obr. 3.7 vpravo).



Obr. 3.7 Závislost trvanlivosti na řezné rychlosti (vlevo), závislost trvanlivosti v závislosti na řezné rychlosti v logaritmickém tvaru (vpravo)<sup>3</sup>

Matematicky se získaná **T-v<sub>c</sub>** závislost (Taylorův vztah) popisuje těmito základními vztahy: <sup>3</sup>

$$v_c = T^m = C_v, \quad v_c = \frac{C_v}{T^{1/m}}, \quad T = \frac{C_T}{v^m}.$$

Tuto závislost lze využít i pro přepočet trvanlivostí ve tvaru:

$$T_1 = v_1^m = T_2 = v_2^m = C_T.$$

Hodnotu konstanty **C<sub>T</sub>** pro daný obráběný materiál a řezné podmínky **f** a **a<sub>p</sub>** lze odečíst na ose **T** pro **v<sub>c</sub>=1m.min<sup>-1</sup>**. Hodnotu konstanty **C<sub>v</sub>** na ose **v<sub>c</sub>** pro trvanlivost **T=1 min**. Exponent **m** vyjadřuje směrnice vytvořené přímky **m=tg.α**. Pro platnost vztahů **T-v<sub>c</sub>** závislosti musí být splněny následující podmínky:

- šířka záběru ostří **a<sub>p</sub>=konst.**;
- posuv na otáčku **f=konst.**;
- opotřebení VB = konst.;
- chlazení, mazání, stav polotovaru, stroje, atd.=konst.

Konstanty i exponent **m** jsou ovlivněny mnoha činiteli, a proto se také jejich hodnoty mění. Významná je hodnota exponentu **m**, která se mění s vlastnostmi materiálu břitu nástroje, a velikost tohoto exponentu udává, jaká je citlivost nástrojového materiálu na změnu řezné rychlosti. Jako příklad jsou v tab. 3.1 uvedeny hodnoty exponentu **m** pro některé řezné materiály při obrábění uhlíkové oceli 0,6% C.

Tab. 3.1 Hodnoty exponentu **m** v závislosti na řezné rychlosti <sup>3</sup>

Nástrojový materiál	Exponent m [-]	Max. teplota obrábění t [°C]	Řezná rychlost v <sub>c</sub> [m.min <sup>-1</sup> ]
Nástrojová ocel	6,0-10,0	260	5-8
Rychlořezná ocel	5,0-8,0	560	15-35
SK třídy P	2,0-5,0	900-1000	100-300
Oxidová RK	1,2-2,5	1200	300-1000

### 3.3 Pravidla pro soustružení řeznou keramikou

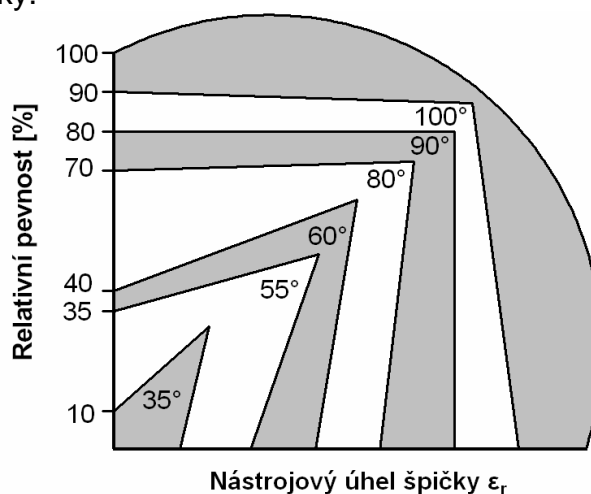
Pro efektivní a hospodárné využití keramických VBD při soustružení je vhodné dodržovat tato základní pravidla: <sup>4</sup>

- před začátkem obrábění se doporučuje srazit hrany;
- pro hrubování zvolit VBD kruhového tvaru nebo malý úhel nastavení hlavního ostří;
- úhel nastavení 85° má za následek malou řeznou sílu a dobrou stabilitu, zejména při soustružení načisto břitovými destičkami čtvercového tvaru;
- vhodně naplánovat (naprogramovat) dráhu nástroje, aby nedocházelo k velkému kolísání zatížení břitu;
- zásadně je nutné dát přednost obrábění za sucha;
- stabilita je nejdůležitějším faktorem, který se vztahuje k celému procesu obrábění, počínaje břitem, přes držák nástroje, až po obráběcí stroj.

### 3.4 Vliv tvaru keramických VBD na jejich relativní pevnost

#### 3.4.1 Nástrojový úhel špičky

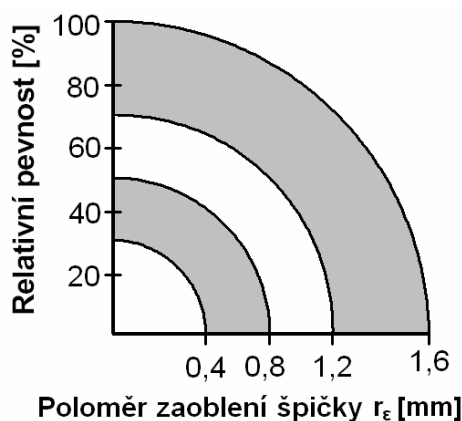
S klesajícím úhlem, který svírá nástrojová rovina hlavního ostří a nástrojovou rovina vedlejšího ostří (nástrojový úhel špičky  $\epsilon_r$ ) břitové destičky, klesá její relativní pevnost (obr. 3.1).<sup>2,14</sup> Z obr. 3.1 vyplývá, že největší relativní pevnost má břitová destička kruhového tvaru. Pro nejvýhodnější obrábění kovu se používá nejpevnější možný tvar, aby byla dosažena maximální relativní pevnost břitové destičky.



Obr. 3.1 Relativní pevnost keramické VBD v závislosti na nástrojovém úhlu špičky<sup>14</sup>

#### 3.4.2 Poloměr zaoblení špičky

Čím větší je poloměr zaoblení špičky ( $r_\epsilon$ ), tím větší je relativní pevnost vyměnitelné břitové destičky. Není možné provádět veškeré operace soustružení velkým poloměrem zaoblení špičky. Velké poloměry zaoblení špičky se používají především pro hrubovací soustružení, malé poloměry pro dokončovací operace soustružení. Tato závislost je vidět na obr. 3.2.

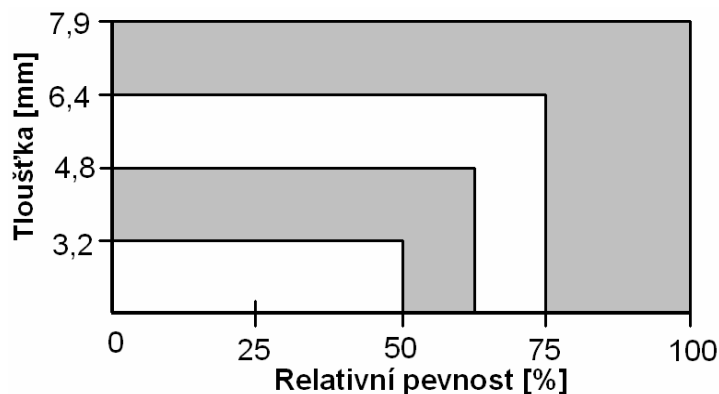


Obr. 3.2 Relativní pevnost keramické VBD v závislosti na poloměru zaoblení špičky<sup>14</sup>



### 3.4.3 Tloušťka vyměnitelné břitové destičky

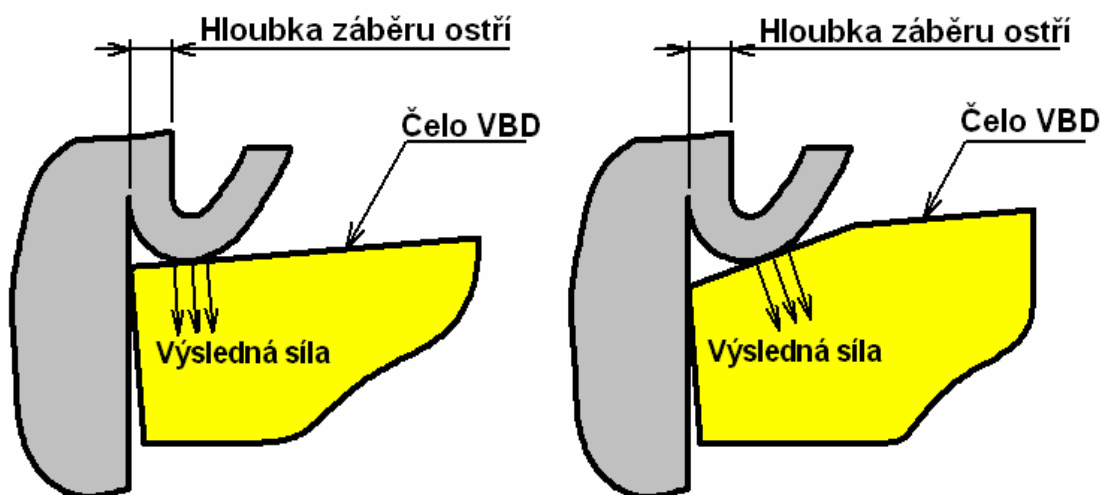
Větší tloušťka vyměnitelné břitové destičky má za následek daleko lepší rázovou houževnatost a prodlužuje životnost nástrojů. Toto přispívá k větším výkonům a menším prostojům. Tloušťka VBD také zvyšuje bezpečnost při práci.



Obr. 3.3 Relativní pevnost keramické VBD v závislosti na její tloušťce <sup>14</sup>

### 3.4.4 Úprava ostří keramického řezného nástroje

Provedením sražení ostří na nástroji (negativní fazetka na čele) se zvyšuje pevnost nástroje. Výsledná síla působící na sražené ostří se rozkládá do většího objemu materiálu řezného nástroje, než je tomu u nástroje bez tohoto sražení, jak vyplývá z obr. 3.4. Tato úprava umožňuje rozšířit aplikační možnosti řezných nástrojů z řezné keramiky (např. obrábění přerušovaným řezem, obrábění licí kůry obrobku atd.).



Obr. 3.4 Úprava ostří keramického řezného nástroje <sup>14</sup>

## 4 DOPORUČENÉ PRACOVNÍ PODMÍNKY PRO EFEKTIVNÍ VYUŽITÍ ŘEZNÉ KERAMIKA

### 4.1 Metodika hodnocení optimálních řezných podmínek

Tato kapitola se zabývá vyhodnocením doporučených pracovních podmínek (druh obráběného materiálu, řezné podmínky), které uvádějí jednotliví výrobci řezné keramiky. Pro toto vyhodnocení byl nejprve v kapitole č. 2 (Řezná keramika v sortimentu výroby nejvýznamnějších domácích a světových producentů nástrojů a nástrojových materiálů) proveden přehled sortimentu významných producentů řezných materiálů s uvedením doporučených řezných podmínek.

Řezné keramické materiály jednotlivých výrobců byly zařazeny do skupin (K,P,H,S) dle ISO 513. Každá skupina určuje, pro jaké obráběné materiály je vhodné použít jednotlivé typy řezných keramik, jak je uvádí výrobci. Tyto řezné materiály jsou dále rozděleny podle rozsahu použití (01, 05, 10, 15, 20, 25, 30). Čím vyšší je číslo rozsahu použití, tím vyšší je houževnatost obráběného materiálu; čím je toto číslo nižší, tím je materiál tvrdší a odolnější proti opotřebení.

Řezné podmínky jsou porovnávány v jednotlivých materiálových skupinách a jsou rozděleny do tří kategorií podle rozsahu použití:

- kategorie č. 1 (rozsah 01÷05);
- kategorie č. 2 (rozsah 10÷15);
- kategorie č. 3 (rozsah 10÷15).

Přestože výrobci řezných materiálů uvádí údaje o svých produktech prostřednictvím katalogů a webových stránek, ne všichni zveřejňují veškeré potřebné údaje pro tuto analýzu. U některých řezných materiálů nebylo možné získat veškeré potřebné údaje, proto bylo hodnocení prováděno pouze u těch materiálů, pro které byly získány údaje o jejich použití a řezných podmínkách.

### 4.2 Hodnocení materiálů zařazených do skupiny K

V tab. 4.1 jsou uvedeny řezné materiály jednotlivých výrobců zařazené do skupiny **K** dle ISO 513 a rozdělené podle rozsahu použití. Hlavní oblastí použití řezné keramiky je obrábění litin, proto tato skupina obsahuje nejvíce řezných materiálů. Přehled řezných podmínek pro keramické materiály, které jsou zařazené do kategorií podle rozsahu použití, jsou uvedeny v tab. 4.2–4.4.

Z porovnávaného vzorku výrobců vyplývá, že nejčastějším rozsahem použití, ve kterém jsou řezné keramické materiály vyráběny, je rozsah **K 10**, následuje **K 01** a **K 15**. Z tab. 4.1. dále vyplývá, že každý výrobce se zaměřuje jen na určité rozsahy použití a žádný z výrobců nepokrývá celou škálu těchto rozsahů, největší rozsah má společnost Ssangyong. Nejvíce řezných materiálů produkuje společnosti Kennametal, Ssangyong, CeramTec a Saint Gobain Advanced Ceramics (dále uváděno pod zkratkou SGAC).

Tab. 4.1 Porovnání použití řezných materiálů jednotlivých výrobců

Výrobce	K 01	K 05	K 10	K 15	K 20	K 25	K 30
<b>CeramTec</b>			SH2 SH3 SN60		SL506 SL550C SN80	SL500 SL554C	SL200
<b>Iscar</b>			IN11 IN23 IN420				
<b>Greenleaf</b>			HSN100 GSN SCN100 GEM7 GEM19				
<b>Kennametal</b>	K090 KYK1310		KYK10 KY3400 KY3500 KY4300		KYK25		
<b>SGAC</b>			D100 D320			D420 D450 D460 D470	
<b>Taegutec</b>	AW20		AB30 AS500 SC10	AS10			
<b>Ssangyong</b>	ST100 ST200 ST500	SZ200	SD200	SN26 SN300 SN400 SN500			
<b>Tungaloy</b>	LX21		CXC73		CX710 FX105		

Tab. 4.2 Řezné podmínky pro rozsah K 01÷05 <sup>18, 19</sup>

K 01÷05					
Výrobce	Ozn. mat.	Řezná rychlost $v_c$ [m.min <sup>-1</sup> ]	Šířka záběru ostří $a_p$ [mm]	Posuv na otáčku $f$ [mm]	Použití
<b>Kennametal</b>	KYK1310	600÷1000	0,1÷0,6	0,2÷2,5	Hrubování i dokončování
<b>Ssangyong</b>	ST100, ST300, ST500	150÷800	3,0÷6,0	0,2÷0,5	Hrubování
		200÷1200	0,1÷0,5	0,3÷0,5	Dokončování
	SZ200	200÷700	2,0÷5,0	0,2÷0,4	Hrubování
		300÷1200	0,1÷0,5	0,05÷0,3	Dokončování

V kategorii č. 1 (rozsah 01-05) byly porovnávány řezné podmínky pouze dvou výrobců (Kennametal a Ssangyong). Z tab. 4.2 je vyplývá, že řezná rychlost  $v_c$  se pohybuje v rozmezí  $150 \div 1200 \text{ m.min}^{-1}$ , šířka záběru ostří  $a_p$  je v rozmezí  $0,1 \div 6,0 \text{ mm}$  a posuv na otáčku  $f$  dosahuje hodnot  $0,2 \div 0,5 \text{ mm}$ .

Tab. 4.3 Řezné podmínky pro rozsah K 10÷15 <sup>14, 15, 18, 19, 21</sup>

K 10÷15					
Výrobce	Ozn. mat.	Řezná rychlost $v_c \text{ [m.min}^{-1}]$	Šířka záběru ostří $a_p \text{ [mm]}$	Posuv na otáčku $f \text{ [mm]}$	Použití
CeramTec	SH2, SN60	$150 \div 1200$	$0,3 \div 1,0$	$0,2 \div 0,6$	Dokončování
Greenleaf	GSN, HSN100	$150 \div 1100$	$1,4 \div 5,7$	$0,05 \div 1,0$	Hrubování
		$150 \div 1500$	$1,4 \div 5,7$	$0,05 \div 1,0$	Dokončování
	GEM7, GEM19	$100 \div 1100$	$1,4 \div 5,7$	$0,05 \div 1,0$	Hrubování
		$100 \div 1500$	$1,4 \div 5,7$	$0,05 \div 1,0$	Dokončování
Kennametal	KY3500	$600 \div 1000$	$0,1 \div 0,7$	$0,2 \div 3,0$	Hrubování i dokončování
	KY4300	$350 \div 800$	$0,1 \div 0,3$	$0,2 \div 2,5$	Hrubování i dokončování
TaeguTec	AS500	$400 \div 1200$	$0,5 \div 3,0$	$0,3 \div 1,0$	Hrubování i dokončování
Ssangyong	SD200	$100 \div 400$	$1,0 \div 2,0$	$0,1 \div 0,2$	Hrubování
		$200 \div 800$	$0,1 \div 0,5$	$0,05 \div 0,25$	Dokončování
	SN26	$150 \div 1100$	$< 5,0$	$0,3 \div 0,8$	Hrubování
	SN300				
	SN400 SN500	$250 \div 1200$	$< 1,0$	$0,15 \div 0,4$	Dokončování

Kategorie č. 2 (rozsah 10-15) má největší zastoupení a v této kategorii je produkováno nejvíce řezných materiálů. tab. 4.2 ukazuje, že řezná rychlost  $v_c$  se pohybuje v rozmezí  $150 \div 1500 \text{ m.min}^{-1}$ , šířka záběru ostří  $a_p$  je v rozmezí  $0,1 \div 5,7 \text{ mm}$  a posuv na otáčku  $f$  dosahuje hodnot  $0,05 \div 1,0 \text{ mm}$ .

Tab. 4.4 Řezné podmínky pro rozsah K 20÷30 <sup>15</sup>

K 20÷30					
Výrobce	Ozn. mat.	Řezná rychlost $v_c \text{ [m.min}^{-1}]$	Šířka záběru ostří $a_p \text{ [mm]}$	Posuv na otáčku $f \text{ [mm]}$	Použití
CeramTec	SN 80	$300 \div 1000$	$\geq 1,5$	$0,25 \div 0,9$	Hrubování

V poslední kategorii č. 3 (rozsah 20-30) je zastoupen pouze jeden řezný materiál od výrobce CeramTec (tab. 4.4).

### 4.3 Hodnocení materiálů zařazených do skupiny H

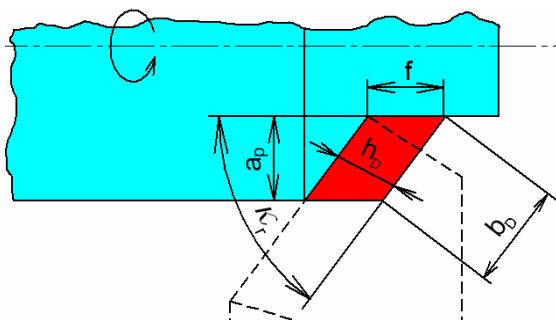
Řezná keramika se také velmi uplatnila při obrábění zušlechťovaných ocelí a jak je patrné z tab. 4.5, výrobci těchto materiálů se této skupině také ve velké míře věnují. V tab. 4.6– 4.7. jsou uvedeny přehledy řezných podmínek pro keramické materiály rozdělené do první a druhé kategorie podle rozsahu použití. Pro třetí kategorii se nepodařilo získat údaje o řezných podmínkách jednotlivých řezných materiálů.

Obdobně jako u skupiny K má i skupina H největší zastoupení keramických řezných materiálů (ze vzorku zkoumaných producentů) pro rozsah použití H 10, následuje H 01 a H 20, jak je vidět v tab. 4.5. Nejvíce řezných materiálů pro tuto skupinu produkuje společnost Ssangyong.

Tab. 4.5 Porovnání použití řezných materiálů jednotlivých výrobců

Výrobce	H 01	H 05	H 10	H 15	H 20	H 25	H 30
CeramTec			SH2				
Iscar					IN23 IN420		
Greenleaf			WG300 GEM7		WG600		
Kennametal			KY4300				
SGAC			D320				
Teagutec	AB20		AB30				
Ssangyong	ST100 ST200 ST500		SN 26 SN300 SN400 SN500				
Tungaloy	LX11						

V tab. 4.6 jsou uvedeny řezné podmínky keramických materiálů pro kategorii č.1. Z této tabulky vyplývá, že řezná rychlost  $v_c$  se pohybuje v rozmezí 20÷200 m.min<sup>-1</sup>, šířka záběru ostří  $a_p$  má rozsah 0,05÷1,5 mm a posuv na otáčku  $f$  dosahuje hodnot 0,05÷0,50 mm.



Obr. 4.1 Základní parametry průřezu třísky při soustružení

Tab. 4.6 Řezné podmínky pro rozsah H 01÷05 <sup>19, 23</sup>

H 01÷05					
Výrobce	Ozn. mat.	Řezná rychlost $v_c$ [m.min <sup>-1</sup> ]	Šířka záběru ostří $a_p$ [mm]	Posuv na otáčku $f$ [mm]	Použití
Tungaloy	LX11	50÷150	0,05÷1,00	0,05÷0,50	Hrubování i dokončování
Ssangyong	ST100 ST200	20÷100	0,5÷1,5	0,1÷0,2	Hrubování
	ST500	40÷200	0,1÷0,5	0,05÷0,5	Dokončování

Zajímavý přístup k doporučení řezných podmínek zvolila společnost CeramTec, která neuvádí hodnoty pro šířku záběru ostří ( $a_p$ ) a posuv na otáčku ( $f$ ), ale namísto toho doporučuje hodnotu pro tloušťku třísky  $h_D$ . Tím se navíc zohlední úhel nastavení hlavního ostří  $\kappa_r$ , jak ukazuje obr. 4.1. Z tab. 4.7 je vidět, že řezná rychlost  $v_c$  se pohybuje v rozsahu 20÷300 m.min<sup>-1</sup>, šířka záběru ostří  $a_p$  dosahuje hodnot 0,05÷5,0 mm a posuv na otáčku  $f$  je v rozmezí 0,05÷0,50 mm.

Tab. 4.7 Řezné podmínky pro rozsah H 10÷15 <sup>14, 15, 19</sup>

H 10÷15					
Výrobce	Ozn. mat.	Řezná rychlost $v_c$ [m.min <sup>-1</sup> ]	Přepočítat hodnoty pro tloušťku třísky $h_D$ [mm]		Použití
CeramTec	SH2	30÷300	0,1÷0,18		Hrubování i dokončování
Výrobce	Ozn. mat.	Řezná rychlost $v_c$ [m.min <sup>-1</sup> ]	Šířka záběru ostří $a_p$ [mm]	Posuv na otáčku $f$ [mm]	Použití
Greenleaf	GEM7	50÷200	0,5÷3,2	0,05÷0,5	Hrubování
		50÷300	0,5÷3,2	0,05÷0,5	Dokončování
Ssangyong	SN 26 SN300	20÷100	<5,0	1,0÷2,0	Hrubování
	SN400 SN500	60÷200	<1,0	0,5÷1,0	Dokončování

#### 4.4 Hodnocení materiálů zařazených do skupiny P

Další významnou materiálovou skupinou dle ISO 513, pro kterou se jako obráběcí materiál využívá keramiky je skupina **P** (ocelové materiály). Rozdělení keramických materiálů v této skupině je uvedeno v tab. 4.8. Přehled řezných podmínek pro keramické materiály, které jsou zařazené do kategorií podle rozsahu použití, jsou uvedeny v tab. 4.9– 4.11.

Tab. 4.8 Porovnání použití řezných materiálů jednotlivých výrobců

Výrobce	P 01	P 05	P 10	P 15	P 20	P 25	P 30
CeramTec					SN 80		
Greenleaf			GEM 19				
Kennametal			K090				
SGAC					D100 D210 D220 D240		
Ssangyong	ST100 ST200 ST500	SZ200					
Tungaloy	LX11 LX21						

U materiálové skupiny **P** má, narozdíl od předchozích skupin, největší zastoupení rozsah použití **P 01** a **P 20**. Mezi hodnocenými výrobci mají nejvíc řezných keramických materiálů společnosti Ssangyong a Saint Gobain Advanced Ceramics.

Tab. 4.9 Řezné podmínky pro rozsah P 01÷05 <sup>19</sup>

P 01÷05					
Výrobce	Ozn. mat.	Řezná rychlost $v_c$ [m.min <sup>-1</sup> ]	Šířka záběru ostří $a_p$ [mm]	Posuv na otáčku $f$ [mm]	Použití
Ssangyong	ST100	150÷400	2,0÷5,0	0,2÷0,5	Hrubování
	ST200				
	ST500	200÷800	0,1÷0,5	0,05÷0,2	Dokončování

Z tab. 4.9- 4.11 plyne, že řezné podmínky pro všechny rozsahy jsou velmi podobné. Řezná rychlost  $v_c$  se pohybuje v rozmezí 150÷1000 m.min<sup>-1</sup>, šířka záběru ostří  $a_p$  je v rozmezí 0,1÷5,7 mm a posuv na otáčku  $f$  dosahuje hodnot 0,05÷0,5 mm.

Tab. 4.10 Řezné podmínky pro rozsah P 10÷15 <sup>14</sup>

P 10÷15					
Výrobce	Ozn. mat.	Řezná rychlost $v_c$ [m.min <sup>-1</sup> ]	Šířka záběru ostří $a_p$ [mm]	Posuv na otáčku $f$ [mm]	Použití
Greenleaf	GEM19	200÷700	1,4÷5,7	0,05÷0,5	Hrubování
		300÷1000	1,4÷5,7	0,05÷0,5	Dokončování

Tab. 4.11 Řezné podmínky pro rozsah P 20÷30 <sup>15</sup>

P 20÷30					
Výrobce	Ozn. mat.	Řezná rychlost $v_c$ [m.min <sup>-1</sup> ]	Šířka záběru ostří $a_p$ [mm]	Posuv na otáčku $f$ [mm]	Použití
CeramTec	SN 80	150÷700	≥ 1,5	0,3÷0,45	Hrubování

#### 4.5 Hodnocení materiálů zařazených do skupiny S

Nejméně zastoupenou skupinou pro jejíž obrábění je vhodná řezná keramika je materiálová skupina **S** (žárovzdorné a žárovevné materiály). Z osmi hodnocených producentů řezné keramiky vyrábí materiály pro tuto skupinu pouze pět. Největší zastoupení mají společnosti Kennametal a Greenleaf.

Z tab. 4.12 vyplývá, že nejvíce keramických řezných materiálů je produkováno v rozsahu použití **S 10**.

Tab. 4.12 Porovnání použití řezných materiálů jednotlivých výrobců

Výrobce	S 01	S 05	S 10	S 15	S 20	S 25	S 30
Iscar			IN11				
Greenleaf			WG600		WG300		
Kennametal			KY1540 KY2100 KY4300				
Teagutec	AS20						
Ssangyong			SN800				

Porovnání řezných podmínek je provedeno pouze pro nejvíce zastoupený rozsah **S 10÷15**. Z tab. 4.7 je vidět, že řezná rychlost  $v_c$  se pohybuje v rozsahu 105÷450 m.min<sup>-1</sup>, šířka záběru ostří  $a_p$  dosahuje hodnot 0,5÷5,0 mm a posuv na otáčku  $f$  je v rozmezí 0,05÷0,50 mm.

Tab. 4.2 Řezné podmínky pro rozsah S 10÷15 <sup>17, 19</sup>

S 10÷15					
Výrobce	Ozn. mat.	Řezná rychlost $v_c$ [m.min <sup>-1</sup> ]	Šířka záběru ostří $a_p$ [mm]	Posuv na otáčku $f$ [mm]	Použití
Kennametal	KY4300 KY1540	105÷350	0,5÷1,5	0,05÷0,5	Dokončování
	KY2100	140÷350	0,5÷1,5	0,05÷0,5	Dokončování
Ssangyong	SN800	150÷250	<5,0	0,2÷0,4	Hrubování
		150÷450	<1,0	0,1÷0,2	Dokončování



#### 4.6 Shrnutí zjištěných poznatků

Řezné keramické materiály jsou díky svým výhodným vlastnostem využívány především pro obrábění litin a mnoho výrobců řezných materiálů se věnuje jejich výrobě. Protože každý výrobce má vlastní značení svých řezných materiálů, byly této kapitole jednotlivé keramické materiály rozděleny do materiálových skupin podle rozsahu použití (dle ISO 513), aby bylo zřetelné, které z těchto materiálů mají podobné pracovní podmínky (druh obráběného materiálu, řezné podmínky).

Nejvíce keramických řezných materiálů je produkováno v materiálové skupině **K 10**, dále následují skupiny **H 10**, **K 01**, **S 10** atd.

Při porovnávání řezných podmínek rozdělených podle jednotlivých rozsahů použití bylo zjištěno, že tyto řezné podmínky dosahují ve všech rozsazích použití velmi podobných hodnot. Pro jsou následující optimální řezné podmínky, vyplývající z údajů jednotlivých výrobců, určeny vždy pro celou materiálovou skupinu.

Pro materiálovou skupinu **K** se řezné podmínky, které uvádějí producenti řezných materiálů, pohybují v těchto mezích:

- řezná rychlost  $v_c = 150 \div 1500 \text{ m.min}^{-1}$ ;
- šířka záběru ostří  $a_p = 0,1 \div 6,0 \text{ mm}$ ;
- posuv na otáčku  $f = 0,05 \div 1,00 \text{ mm}$ .

Pro materiálovou skupinu **H** se řezné podmínky, které uvádějí producenti řezných materiálů, pohybují v těchto mezích:

- řezná rychlost  $v_c = 20 \div 300 \text{ m.min}^{-1}$ ;
- šířka záběru ostří  $a_p = 0,05 \div 5,00 \text{ mm}$ ;
- posuv na otáčku  $f = 0,05 \div 2,00 \text{ mm}$ .

Pro materiálovou skupinu **P** se řezné podmínky, které uvádějí producenti řezných materiálů, pohybují v těchto mezích:

- řezná rychlost  $v_c = 150 \div 1000 \text{ m.min}^{-1}$ ;
- šířka záběru ostří  $a_p = 0,1 \div 5,7 \text{ mm}$ ;
- posuv na otáčku  $f = 0,05 \div 0,50 \text{ mm}$ .

Pro materiálovou skupinu **S** se řezné podmínky, které uvádějí producenti řezných materiálů, pohybují v těchto mezích:

- řezná rychlost  $v_c = 105 \div 450 \text{ m.min}^{-1}$ ;
- šířka záběru ostří  $a_p = 0,5 \div 5,0 \text{ mm}$ ;
- posuv na otáčku  $f = 0,05 \div 0,50 \text{ mm}$ .

Z těchto údajů vyplývá, že největší vliv na řezné podmínky má řezná rychlost. Nejvyšších řezných rychlostí se dosahuje u materiálových skupin **K** a **P**, naopak nejnižších rychlostí u skupin **H** a **S**.

Při stanovování konkrétních hodnot řezných podmínek je vždy třeba zohlednit to, zda se jedná o hrubovací nebo dokončovací operace, kontinuální nebo přerušovaný řez, zvolené přídatky na obrábění, použití řezné kapaliny apod.

## ZÁVĚR

Řezná keramika je polykrystalický materiál, který obsahuje zrna velmi malých rozměrů, často menší než 1  $\mu\text{m}$ . Lze ji charakterizovat nízkou měrnou hmotností, nízkou houževnatostí, vysokou odolností proti opotřebení, vysokou tvrdostí a to i za vysokých teplot, tepelnou odolností a chemickou stálostí. Pro zlepšení vlastností a odstranění některých nedostatků (např. nízká houževnatost) se keramické materiály vyztužují whiskery, nebo se na jejich povrch nanáší povlakové vrstvy.

Pro řezné keramické materiály neexistuje normou stanovené rozdělení, přesto je všeobecně přijímáno dělení na oxidovou (čistou, polosměsnou a směsnou) a neoxidovou řeznou keramiku. Značení těchto materiálů řeší norma ČSN ISO 513.

Přestože řezná keramika zaujímá přibližně 5% světové výroby řezných materiálů, vybudovala si díky svým vlastnostem specifické postavení mezi těmito materiály. Používá se pro obrábění velmi tvrdých materiálů, především litin a zušlechťovaných ocelí, ale lze je využít také při obrábění žáruvzdorných slitin a ocelových materiálů.

V praktické části této práce byl nejprve proveden přehled sortimentu osmi významných producentů řezných materiálů (CeramTec, Iscar, Greenleaf, Kennametal, Saint Gobain Advanced Ceramics, Ssangyong, TaeguTec a Tungaloy) s uvedením doporučených řezných podmínek. Poté byly tyto keramické materiály zařazeny do materiálových skupin (K, H, P, S) podle rozsahu použití (01-30), jak uvádí norma ČSN ISO 513.

Díky tomuto rozdělení bylo možno keramické řezné materiály porovnat z hlediska pracovních podmínek (druh obráběného materiálu, řezné podmínky). Dále byly vytvořeny srovnávací tabulky mezi keramickými řeznými materiály, které vyrábí vybraní producenti řezných materiálů

. Ze zjištěných údajů vyplynulo, že největší vliv na řezné podmínky má řezná rychlost. Nejvyšších řezných rychlostí se dosahuje u materiálových skupin **K** a **P**, naopak nejnižších rychlostí u skupin **H** a **S**. Při určování konkrétních hodnot řezných podmínek je třeba vzít v úvahu to, zda se jedná o hrubovací nebo dokončovací operace, kontinuální nebo přerušovaný řez, zvolené přídatky na obrábění, použití řezné kapaliny apod.

Dalším zjištěním bylo, že hodnocení výrobci produkují nejvíce řezných keramických materiálů pro materiálovou skupinu **K 10**, následují **H 10**, **K 01** a **S 10**.

Nejvýznamnějším evropským producentem s největším množstvím vyráběných řezných keramických materiálů je společnost CeramTec se sedlem v Německu

Řezná keramika je velmi perspektivní řezný materiál, který je stále předmětem výzkumu mnoha výrobců řezných materiálů a je zřejmé, že potenciální výkon keramických materiálů ještě nebyl vyčerpán. Nový směr ve využití ke-

ramických materiálu ukázala německá společnost Fraunhofer, které se podařilo ovlivnit některé nepříznivé vlastnosti řezných keramik a úspěšně vyvinula několik typů monolitních keramických frézovacích nástrojů, což jeden z prvních úspěšných pokusu. V minulosti se o toto, ne příliš úspěšně, pokoušela společnost Gühring u vrtacích nástrojů.

**SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ**

1. HUMÁR, A. *Materiály pro řezné nástroje*. Praha: MM publishing s.r.o., 2008. 235 s. ISBN 978-80-245-2250-2.
2. ZEMČÍK, O. *Nástroje a přípravky pro obrábění*. Brno: Akademické nakladatelství CERM s.r.o., 2003. 193 s. ISBN 80-214-2336-6.
3. FOREJT, M. PÍŠKA, M. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Brno: Akademické nakladatelství CERM s.r.o., 2006. 225 s. ISBN 80-214-2374-9.
4. AB SANDVIK COROMANT - SANDVIK CZ s.r.o. *Příručka obrábění - Kniha pro praktiky*. Přel. M. Kudela. 1. vyd. Praha: Scientia, s. r. o. 1997. 857 s. Přel. z: Modern Metal Cuttig - A Practical Handbook. ISBN 91-9722 99-4-6.
5. KAYA, H. *Creep behavior in SiC - whisker reinforced silicon nitride composite*. Petroleum Energy Center, Minato-ku, Tokyo, 105-0001 Japan. 1999.
6. SCHNEIDR, J., RICHTER, G. *Neue Entwicklungen und Anwendunger bei Schneidkeramik. Werkzeugtechnik*.(132) 1999. No.4. pp. 71-75.
7. ČSN ISO 513. *Klasifikace a použití tvrdých řezných materiálů k obrábění kovů určeným ostřím – označování skupin a podskupin použití*. Český normalizační institut. Praha. 02/2006.
8. Ullmann, E. Wacinski, M. Monolitní keramické frézovací nástroje. *MM průmyslové spektrum*. duben 2010. s.18-22. ISSN 1212-2572.
9. FOREJT, M., HUMÁR, A., PÍŠKA, M., JANÍČEK, L. *Experimentální metody* [online]. [cit. 15. února 2010]. Syllabus. VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2003, 83 s. Dostupné na World Wide Web: <[http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/opory\\_soubory/experimentalni\\_metody\\_\\_cviceni\\_\\_forejt\\_piska\\_humar\\_janicek.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/opory_soubory/experimentalni_metody_cviceni__forejt_piska_humar_janicek.pdf)>.
10. MATĚJKA, J. ČESÁNEK, J. *Řezná keramika*. [online]. [cit. 12. ledna 2010]. ZČU Plzeň, Fakulta strojní, Dostupné na World Wide Web: <[http://www.ateam.zcu.cz/download/Rezna-keramika-07\\_08.pdf](http://www.ateam.zcu.cz/download/Rezna-keramika-07_08.pdf)>.
11. MATĚJKA, J. SOVA, F. SKOPEČEK, T. *Chování řezné keramiky při frézování a soustružení kalených ocelí*. [online]. [cit. 12. ledna 2010]. ZČU Plzeň, Fakulta strojní, 2006, Dostupné na World Wide Web: <<http://www.strojarstvo.sk/inc/casopis/022006/72-73.pdf>>.

12. KOVALČÍK, J. ČUBAN, J. *Porovnání vyměnitelných břitových destiček z oxidové řezné keramiky českého výrobce Saint Gobain Advanced Ceramics, s.r.o. při obrábění vložek válců ze šedé litiny.* [online]. [cit. 12. ledna 2010]. TU v Liberci, Katedra obrábění a montáže, 2009, Dostupné na World Wide Web: <[http://www.infocube.cz/images/machining-too-ling/clanky/Porovnani%20vymenitelných%20britových%20desticek\\_90-93.pdf](http://www.infocube.cz/images/machining-too-ling/clanky/Porovnani%20vymenitelných%20britových%20desticek_90-93.pdf)>.
13. KLOCKER, F. *Cutting materials, tools and coolants for machining with geometrically defined cutting edges- part 2.* [online]. [cit. 4. února 2010]. Fraunhofer, Institut produktionstechnologie, Dostupné na World Wide Web: <[http://www.wzl.rwth-aachen.de/en/99bb29b71821808dc1256f33004f81ce/mti\\_l05.pdf](http://www.wzl.rwth-aachen.de/en/99bb29b71821808dc1256f33004f81ce/mti_l05.pdf)>.
14. *Metalcutting tools and systems.* GREENLEAF - EXCELERATING SOLUTIONS. USA. 2005. 800-458-1850.
15. *SPK Tools, tips & productivity.* CERAMTEC AG - SPK CUTTING TOOL DIVISION. Ebersbach. Germany. 2003. DE/8700/EA/0035.
16. *Přehled řezných materiálů.* ISCAR. Česká republika. 2008. 7861103-05.2008.
17. *Kennametal's KYON® 4300 Whisker-Reinforced Ceramic Turning Grade.* KENNAMETAL INC., LATROBE. USA. 2007. A07-256(25)K7.
18. *Kennametal's KYON® KY1320 Silicon nitride grade for cast iron turning.* KENNAMETAL INC., LATROBE. USA. 2007. A07-33(58)B7.
19. SSANGYONG CEMENT INDUSTRIAL LTD. *Ceramic insert.* [online]. [cit. 9. dubna 2010]. Korea. 2007. Dostupné na World Wide Web: <[http://www.cerabit.com/Product/Product\\_Info.asp?Pro\\_Kind\\_Code=10](http://www.cerabit.com/Product/Product_Info.asp?Pro_Kind_Code=10)>.
20. *New Advertising Materials Annoucement.* TAEGUTEC LTD. Japan. May 2007. No. 01.
21. *New product Annoucement.* TAEGUTEC LTD. Japan. June 2009. No. 107.
22. SAINT GOBAIN ADVANCED CERAMICS, s.r.o. *Břítové destičky z řezné keramiky.* [online]. [cit. 12. dubna 2010]. Česká republika. 2007. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.sgac-turnov.cz/index.php?content=210&lang=cs>>.
23. *Katalog 2009.* TUNGALOY CENTRAL EUROPE s.r.o. Česká republika. červenec 2009. TCE 0709-CZ1.